



TUGAS AKHIR – RG 141536

**STUDI DEFORMASI JEMBATAN DENGAN
METODE SIPAT DATAR
(Studi Kasus : Jembatan MERR II-C, Surabaya)**

MUHAMAD NURYADHI USMAN
NRP 3511 100 048

Dosen Pembimbing
Dr.-Ing.Ir.Teguh Hariyanto,MSc.

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT – RG 141536

**STUDY OF BRIDGE DEFORMATION USING
WATERPASS LEVELLING METHOD
(Case Study : MERR II-C Bridge, Surabaya)**

MUHAMAD NURYADHI USMAN
NRP 3511 100 048

Supervisor
Dr.-Ing.Ir.Teguh Hariyanto,MSc.

GEOMATIC ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**STUDI DEFORMASI JEMBATAN DENGAN
METODE SIPAT DATAR
(Studi Kasus : Jembatan MERR II-C, Surabaya)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

pada

**Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**MUHAMAD NURYADHI USMAN
NRP. 3511100048**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Ir.Teguh Hariyanto, MSc.
NIP. 19590819 198502 1001



SURABAYA, JANUARI 2016



STUDI DEFORMASI JEMBATAN DENGAN METODE SIPAT DATAR

(Studi Kasus : Jembatan MERR II-C, Surabaya)

Nama Mahasiswa : Muhamad Nuryadhi Usman
NRP : 3511100048
Jurusan : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Dr.-Ing.Ir.Teguh Hariyanto,MSc.

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu aspek penting untuk pembangunan dan sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi. Seiring berjalannya waktu karena adanya faktor lingkungan, penurunan kemampuan dan proses kerusakan fisik dari infrastruktur tersebut tidak dapat dihindarkan. Jembatan MERR merupakan salah satu sarana transportasi yang penting. Berdasarkan hasil pengujian tanah di daerah sekitar jembatan oleh Jurusan Teknik Sipil ITS, jenis tanah sekitar adalah tanah lempung lunak. Pada tanah lempung lunak, masalah yang akan dijumpai bilamana harus mengkonstruksikan bangunan di atasnya adalah daya dukung tanah yang rendah serta kemampuan tanah yang relatif tinggi.

Oleh karena itu diperlukan pemantauan apakah terjadi perubahan elevasi permukaan struktur jembatan untuk keperluan proses monitoring jembatan. Pada penelitian ini, dilakukan survei pengukuran beda tinggi menggunakan metode sipat datar untuk keperluan monitoring jembatan

tersebut. Metode pengolahan data yang digunakan adalah perataan parameter dan bersyarat.

Penelitian yang dilakukan selama 2 bulan pada 9 titik pengamatan menunjukkan bahwa elevasi masing-masing titik pada jembatan MERR II-C mengalami perubahan. Perubahan terbesar terjadi pada titik 6 sebesar -0.012 m. Sedangkan perubahan terkecil terjadi pada titik 1 sebesar -0.001 m. Pada titik 8 sebesar 0 m atau tidak terjadi perubahan.

Kata kunci : Elevasi, Monitoring Jembatan, Perataan, MERR

STUDY OF BRIDGE DEFORMATION USING WATERPASS LEVELLING METHOD (Case Study : MERR II-C Bridge, Surabaya)

Student Name : Muhamad Nuryadhi Usman
NRP : 3511100048
Department : Teknik Geomatika
Advisor : Dr.-Ing.Ir.Teguh Hariyanto,MSc.

ABSTRACT

Infrastructure development is one important aspect for development and as a driver of economic growth. Over time, due to environmental factors, a decrease in the ability and the physical destruction of the infrastructure can not be avoided. The decreasing can affect the ability of the national economy. MERR bridge is one of the important infrastructure of transport. Based on the results of soil testing in the area around the bridge by Department of Civil Engineering ITS, the type of soil around the bridge is soft clay. In the soft clay soil, the problem that will be found when there is a need to construct buildings on it are low soil bearing capacity and congestion of the soil that is relatively.

It is therefore necessary to monitor whether there are changes in surface height of the bridge structure for the purpose of monitoring the bridge. In this study, a survey of measuring height difference using waterpass levelling for monitoring the bridge is carried out.

The study conducted for approximately two months of 9 observation point showed that the elevation of each point on

the bridge MERR II-C has encountered changes of height. The biggest change occurred at point 6 of -0.012 m, and the smallest change occurred at point 1 of -0.001 . Point 8 has encountered 0 m change or no change occurred.

Keywords : *Elevation, Bridge Monitoring, Adjustment, MERR*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan kasih karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat disusun sebagai syarat menempuh program sarjana di Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis mendapat banyak dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis pada kesempatan ini ingin mengucapkan terimakasih kepada :

- Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang penuh pengertian serta selalu memberikan motivasi dan doa.
- Bapak Dr.-Ing.Ir.Teguh Hariyanto,MSc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan membimbing dalam pengerjaan tugas akhir.
- Bapak Mokhamad Nur Cahyadi selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
- Bapak Khomsin selaku koordinator tugas akhir.
- Bapak Yuwono selaku dosen wali.
- Bapak Agung Budi Cahyono dan ibu Cherie Bhakti Pribadi selaku dosen penguji.
- Bapak Basofi selaku laboran yang telah memudahkan dan memberikan akses peminjaman alat.
- Seluruh staf pengajar jurusan Teknik Geomatika – ITS
- Karyawan jurusan Teknik Geomatika – ITS.
- Rekan – rekan G-13 angkatan 2011.
- Semua rekan – rekan yang terlibat dalam penyelesaian tugas akhir, khususnya Mas Yudha, Frandik, Alhadir, Sarkawi, Robi, Syariz, dan Gema.

Penulis menyadari penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan sehingga perlu adanya perbaikan dan penyempurnaan dikemudian hari, baik untuk Tugas Akhir ini maupun tulisan-tulisan berikutnya. Oleh karena itu penulis mengharapkan ada kritik dan saran yang membangun terhadap Tugas Akhir ini.

Penulis berharap bahwa hasil Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi dunia ilmu pengetahuan, khususnya terutama di bidang Survey Geodesi di Indonesia.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Deformasi	5
2.2 Jembatan	5
2.3 Sistem Tinggi	6
2.3.1 Tinggi Ellipsoid	7
2.3.2 Tinggi Dinamis	8
2.3.3 Tinggi Orthometris	9
2.3.4 Tinggi Normal	10
2.4 Kerangka Kontrol Vertikal	11
2.4.1 Metode Pengukuran Tinggi	12
2.4.2 Prinsip Pengukuran Beda Tinggi Sipat Datar	13
2.4.3 Cara Menentukan Beda Tinggi Sipat Datar	15
2.5 Sipat Datar (Waterpass)	17
2.5.1 Persyaratan Sipat Datar	17

2.5.2 Perataan Beda Tinggi Sipat Datar.....	18
2.5.3 Perataan Metode Parameter	20
2.5.4 Perataan Metode Bersyarat	22
2.6 Regresi Linier	24
2.6.1 Regresi Linier Sederhana.....	24
2.6.2 Regresi Linier Polinomial.....	24
2.6.3 Pengujian Persamaan	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Lokasi Penelitian	27
3.2 Data dan Peralatan	28
3.2.1 Data.....	28
3.2.2 Peralatan.....	28
3.3 Tahapan Penelitian.....	29
3.3.1 Tahap Persiapan.....	30
3.3.2 Tahap Pengumpulan Data.....	30
3.3.3 Tahap Pengolahan Data	31
3.3.4 Tahap Analisa dan Hasil.....	32
BAB IV HASIL DAN ANALISA	33
4.1 Hasil	33
4.1.1 Pengukuran Waterpass.....	33
4.1.2 Perataan Parameter	35
4.1.3 Perataan Bersyarat	38
4.2 Analisa.....	42
4.2.1 Analisa Toleransi Pengukuran.....	42
4.2.2Analisa Perubahan Elevasi	42
4.2.2.1 Perataan Parameter	42
4.2.2.2 Perataan Bersyarat.....	43
4.2.3 Analisa Regresi Linier	45
4.2.2.1 Perataan Parameter	45
4.2.2.2 Perataan Bersyarat.....	52
4.2.4 Penyebab Perubahan Elevasi Permukaan Jembatan ...	59
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61

5.1 Saran	61
-----------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIOGRAFI



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tinggi Ellipsoid.....	8
Gambar 2.2 Ilustrasi Tinggi Ortometrik.....	10
Gambar 2.3 Tinggi Normal.....	11
Gambar 2.4 Tinggi Titik di Atas Permukaan Tanah	12
Gambar 2.5 Prinsip Pengukuran Beda Tinggi.....	15
Gambar 2.6 Cara Pengukuran Beda Tinggi.....	16
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	29
Gambar 3.3 Persebaran Titik Pengukuran di Lapangan.....	31
Gambar 4.1 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Parameter ..	45
Gambar 4.2 Grafik Regresi Linier Titik 2 Perataan Parameter ..	45
Gambar 4.3 Grafik Regresi Linier Titik 3 Perataan Parameter ..	46
Gambar 4.4 Grafik Regresi Linier Titik 4 Perataan Parameter ..	46
Gambar 4.5 Grafik Regresi Linier Titik 5 Perataan Parameter ..	47
Gambar 4.6 Grafik Regresi Linier Titik 6 Perataan Parameter ..	47
Gambar 4.7 Grafik Regresi Linier Titik 7 Perataan Parameter ..	48
Gambar 4.8 Grafik Regresi Linier Titik 8 Perataan Parameter ..	48
Gambar 4.9 Grafik Regresi Linier Titik 9 Perataan Parameter ..	49
Gambar 4.10 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	51
Gambar 4.11 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	51
Gambar 4.12 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	52
Gambar 4.13 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	52
Gambar 4.14 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	53
Gambar 4.15 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	53
Gambar 4.16 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	54
Gambar 4.17 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	54
Gambar 4.18 Grafik Regresi Linier Titik 1 Perataan Bersyarat .	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Nilai R_{xy}	25
Tabel 4.1 Beda Tinggi Hasil Pengukuran Kala 1.....	33
Tabel 4.2 Elevasi Tiap Titik Sebelum Perataan.....	34
Tabel 4.3 Elevasi Tiap Titik Setelah Perataan Parameter.....	38
Tabel 4.4 Standar Deviasi Perataan Parameter.....	38
Tabel 4.5 Elevasi Tiap Titik Setelah Perataan Bersyarat.....	41
Tabel 4.6 Standar Deviasi Perataan Bersyarat.....	41
Tabel 4.7 Perubahan Elevasi dengan Perataan Parameter.....	42
Tabel 4.8 Perubahan Elevasi dengan Perataan Parameter.....	43
Tabel 4.9 R^2 Tiap Titik untuk Perataan Parameter.....	49
Tabel 4.10 R^2 Tiap Titik untuk Perataan Bersyarat.....	55



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu aspek penting untuk pembangunan. Selain itu, pembangunan infrastruktur memegang peranan penting sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi.

Seiring berjalannya waktu karena adanya faktor lingkungan, penurunan kemampuan dan proses kerusakan fisik dari infrastruktur tersebut tidak dapat terhindarkan. Penurunan kemampuan tersebut dapat mempengaruhi perekonomian nasional.

Jembatan MERR merupakan jembatan yang terletak di *Middle East Ring Road* (MERR) Surabaya yang merupakan salah satu sarana transportasi yang penting. Kondisi dan karakteristik tanah di sekitar objek infrastruktur Jembatan MERR menjadi salah satu faktor yang menentukan ketahanan dan kestabilan dari struktur jembatan tersebut. Berdasarkan hasil pengujian tanah di daerah sekitar jembatan (sumber: data pengujian tanah di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik Sipil, FTSP – ITS, Surabaya), jenis tanah sekitar adalah tanah lempung lunak. Pada tanah lempung lunak, masalah yang akan dijumpai bilamana harus mengkonstruksikan bangunan di atasnya adalah daya dukung tanah yang rendah serta kemampatan tanah yang relatif tinggi.

Oleh karena itu diperlukan pemantauan apakah terjadi perubahan tinggi permukaan struktur jembatan untuk keperluan proses *monitoring* jembatan. Pada penelitian kali ini, dilakukan survei pengukuran beda tinggi menggunakan metode sipat datar untuk keperluan monitoring jembatan tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah terjadi perubahan tinggi permukaan jembatan MERR II-C terhadap tanah disekitarnya?
2. Jika terjadi perubahan tinggi permukaan jembatan tersebut, berapa besar nilai perubahan tersebut?
3. Berapa ketelitian dari hasil pengukuran tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah pada penelitian ini.

1. Objek penelitian adalah Jembatan MERR II-C.
2. Data diambil dengan menggunakan alat Waterpass dengan orde 1 dan dilakukan sebanyak tiga kali.
3. Terdapat sepuluh titik yang diukur beda tingginya, dengan satu titik sebagai titik ikat.

1.4 Tujuan

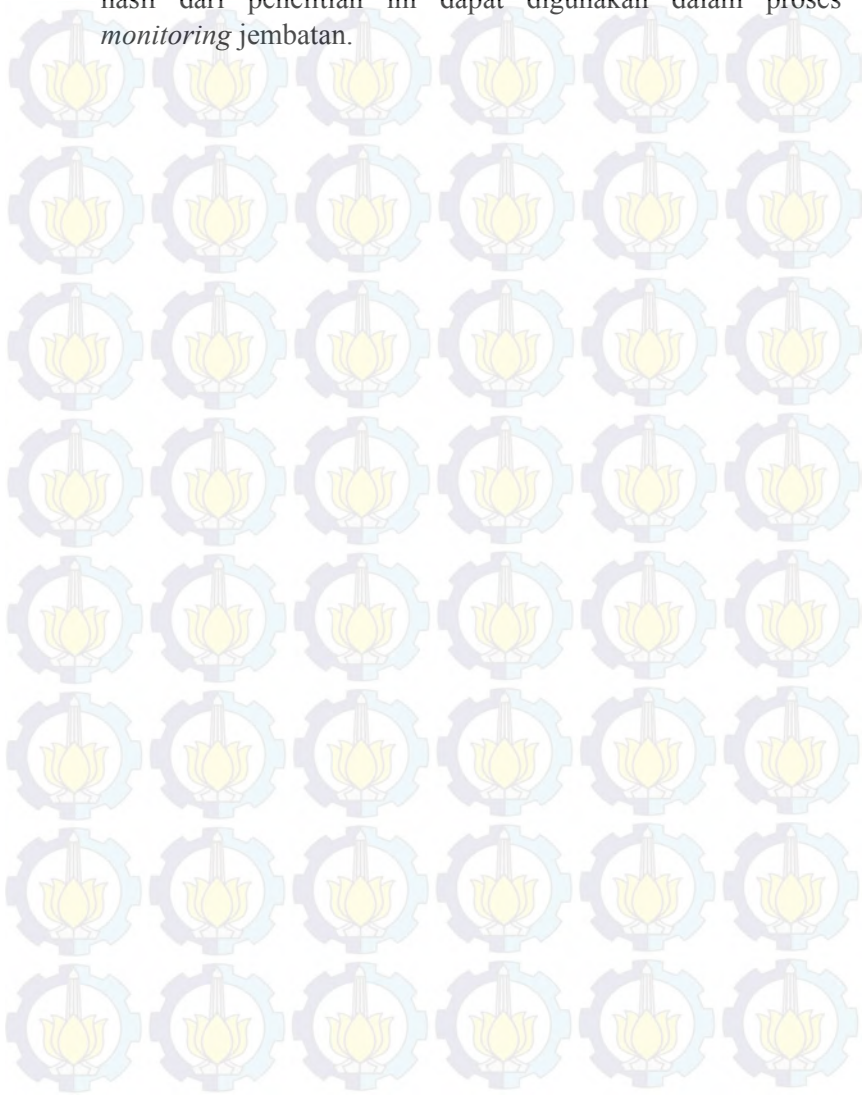
Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

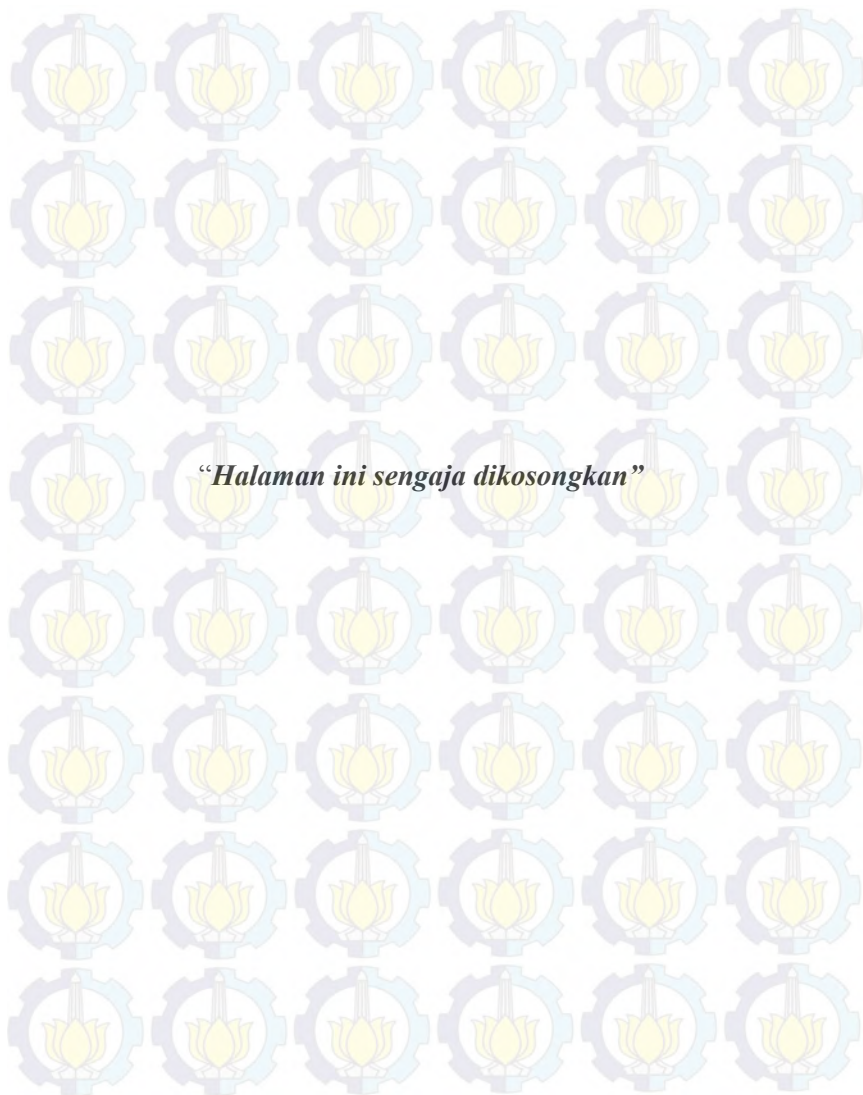
1. Melakukan pengukuran sipat datar untuk mengetahui pergerakan jembatan apakah terjadi perubahan tinggi pada permukaan jembatan.
2. Melakukan analisa data hasil pengukuran untuk mengetahui nilai dari perubahan tinggi yang terjadi pada permukaan jembatan beserta ketelitian pengukurannya.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi tentang perubahan tinggi permukaan Jembatan MERR II-C dari hasil pengukuran Waterpass serta seberapa besar nilai perubahan tinggi permukaan jembatan tersebut terhadap objek muka tanah di sekitarnya. Sehingga

hasil dari penelitian ini dapat digunakan dalam proses *monitoring* jembatan.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Berdasarkan definisi tersebut, deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu pada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif). Deformasi yang dimaksudkan dalam pemantauan survey ini adalah perubahan posisi suatu titik yang diamati pada jangka waktu tertentu secara berkelanjutan.

Deformasi yang terjadi pada suatu objek infrastruktur dapat disebabkan oleh faktor alam misalnya pergerakan tanah di lokasi berdirinya infrastruktur tersebut. Untuk mengetahui besar deformasinya, diperlukan monitoring posisi terhadap suatu target yang terdapat pada infrastruktur tersebut yang dilakukan secara berkala dan berkelanjutan. Target tersebut dapat berupa titik, garis, atau bidang yang dianggap dapat mewakili objek infrastruktur tersebut. Dengan mengetahui posisi target di setiap pengamatan, nantinya perubahan posisi yang terjadi tersebut diolah dan dianalisis untuk diambil kesimpulan deformasinya.

2.2 Jembatan

Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang dibangun untuk melewati suatu massa atau *traffic* atas suatu penghalang atau rintangan seperti sungai, jurang, rel kereta api, dll. Penjelasan pada PP No 34 Tahun 2006 tentang Jalan menyebutkan bahwa yang dimaksud dengan “jembatan”

adalah jalan yang terletak di atas permukaan air dan/atau di atas permukaan tanah.

Jenis jembatan dapat dibedakan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe struktur. Berikut adalah jenis jembatan berdasarkan lokasinya.

1. Jembatan di atas sungai atau danau.
2. Jembatan di atas lembah.
3. Jembatan di atas jalan yang ada (*fly over*).
4. Jembatan di atas saluran irigasi/drainase(*culvert*).
5. Jembatan di dermaga (*jetty*)

Berdasarkan bahan konstruksinya, jenis jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis seperti berikut..

1. Jembatan kayu (*log bridge*).
2. Jembatan beton (*concrete bridge*).
3. Jembatan beton prategang (*prestresses concrete bridge*).
4. Jembatan baja (*steel bridge*).
5. Jembatan komposit (*composite bridge*).

Berikut adalah jenis-jenis jembatan berdasarkan strukturnya.

1. Jembatan plat (*slab bridge*).
2. Jembatan plat berongga (*voided slab bridge*).
3. Jembatan gelagar (*girder bridge*).
4. Jembatan rangka (*truss bridge*).
5. Jembatan rangka (*truss bridge*).
6. Jembatan pelengkung (*arch bridge*).
7. Jembatan gantung (*suspension bridges*).
8. Jembatan kebel (*cable stayed bridge*).
9. Jembatan *cantilever* (*cantilever bridge*).

2.3 Sistem Tinggi

Tinggi adalah jarak vertikal atau jarak tegak lurus dari suatu bidang referensi tertentu terhadap suatu titik sepanjang garis vertikal. Untuk suatu wilayah biasa MLR ditentukan

sebagai bidang referensi dan perluasan kedaratan akan disebut dengan datum atau geoid (Anjasmara, 2005).

Informasi tinggi yang ada di permukaan bumi dapat didefinisikan menjadi tiga jenis utama tinggi, yaitu :

- a) Tinggi Ellipsoid
- b) Tinggi Dinamis
- c) Tinggi Orthometris
- d) Tinggi Normal

2.3.1 Tinggi Ellipsoid

Tinggi ellipsoid adalah tinggi yang diperoleh dengan sedikit hubungan dengan gravitasi bumi. Sistem tinggi ini digunakan oleh sistem pengamatan yang dilakukan menggunakan GPS. Tinggi ellipsoid adalah jarak garis lurus yang diambil sepanjang bidang ellipsoid normal dari permukaan geometris yang diambil dari referensi ellipsoid ke titik tertentu (W. E. Featherstone, 2006).

Ketinggian titik yang diberikan oleh GPS adalah ketinggian titik di atas permukaan ellipsoid, yaitu ellipsoid WGS (*World Geodetic System*) 1984 (Abidin, 2002). Tinggi ellipsoid (h) tersebut tidak sama dengan tinggi orthometrik (H) yang umum digunakan untuk keperluan praktis sehari-hari yang biasa diperoleh dari pengukuran sipat datar (levelling). Tinggi ellipsoid suatu titik adalah tinggi titik tersebut di atas ellipsoid dihitung sepanjang garis normal ellipsoid yang melalui titik tersebut



Gambar 2.1 Tinggi ellipsoid h : Jarak garis lurus yang diambil sepanjang bidang ellipsoid normal ke titik tertentu Q_{0ell} diatas permukaan bumi yang memiliki referensi ellipsoid ke titik tertentu (P).

Sumber : W. E. Featherstone, 2006.

2.3.2 Tinggi Dinamis

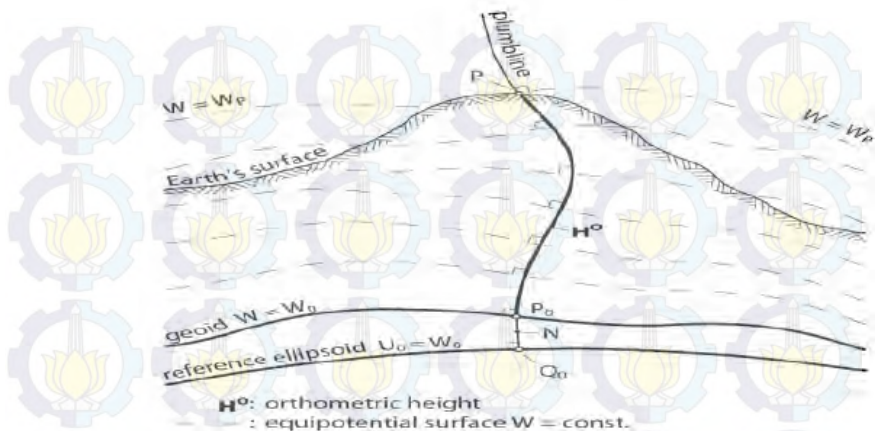
Sistem tinggi dinamik memiliki hubungan yang sangat kuat dengan sistem geopotensial, sistem ini pernah dikembangkan oleh Helmert (1884). Pada tinggi dinamis, gaya berat rata – rata diambil suatu harga berat normal standar bagi daerah yang bersangkutan, yaitu harga gaya berat normal yang dekat dengan nilai harga gaya berat rata –rata di daerah itu. Untuk tinggi dinamis global, harga gaya

berat normal pada lintang 45o . Untuk Indonesia bisa ditentukan harga gaya berat normal di ekuator dengan sistem referensi GRS – 1967 yaitu : 978.032 gal. (Irawan Syafri , 1990).

Nilai geopotensial didefinisikan sebagai nilai konstanta. Tinggi dinamis menyerap karakter yang sama, hal yang membedakan adalah tinggi dinamis memiliki dimensi jarak. Dengan kata lain tinggi dinamis tidak memiliki nilai geografis, melainkan hanya memiliki nilai kuantitas fisik bumi (*Physical Quantity*). (Heiskanen and Moritz, 1967; Jakeli, 2000).

2.3.3 Tinggi Orthometris

Tinggi ortometris suatu titik adalah jarak geometris yang diukur sepanjang unting – unting (*Plumb Line*) antara geoid ke titik tersebut (Irawan Syafri, 1990). Tinggi ortometris ini merupakan tinggi yang secara umum dimengerti dan paling banyak digunakan. Lain dengan tinggi dinamis, tinggi ortometrik ini memiliki nilai geometris. Permukaan geoid referensi sangat unik hal ini dikarenakan satu bidang equipotensial yang merupakan bidang yang memiliki nilai gravitasi tunggal sama dengan permukaan laut di lautan terbuka. Dalam praktik tinggi ortometrik sangat sulit direalisasikan, karena untuk merealisasikan hal yang perlu diketahui adalah arah tegak lurus dari percepatan gravitasi terhadap permukaan disemua titik yang berada sepanjang jarak tersebut.



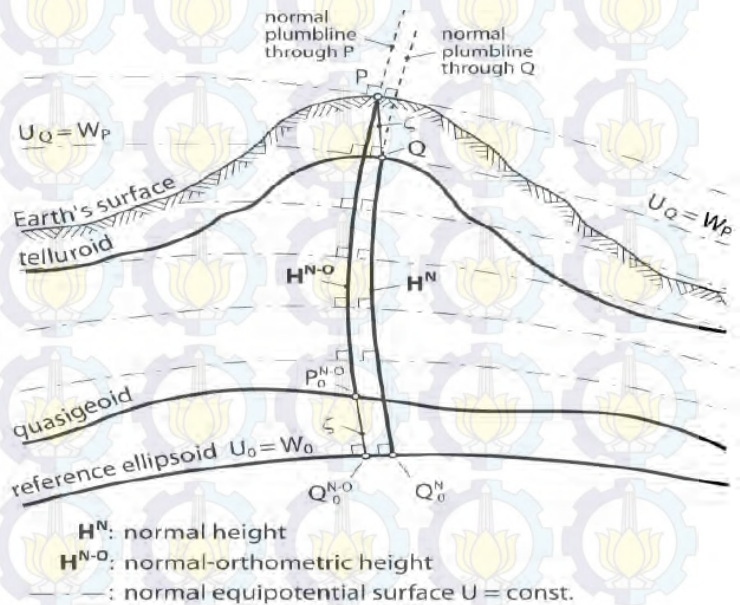
Gambar 2.2 Ilustrasi Tinggi Ortometrik
Sumber : W. E. Featherstone, 2006

Ada beberapa metoda untuk mendapatkan harga undulasi geoid diantaranya adalah dengan metoda geometrik. Pada metoda geometrik undulasi geoid dihitung dari kombinasi data ketinggian posisi satelit dengan ketinggian dan pengukuran sipat datar (*Levelling*). Tinggi ortometrik suatu titik dipermukaan bumi dapat didefinisikan sebagai jarak geometrik antara titik tersebut dipermukaan bumi dengan titik pasangannya di permukaan geoid dan diukur sepanjang garis unting – unting (*Plumbline*).

2.3.4 Tinggi Normal

Tinggi normal pada awal dihitung untuk menghindari masalah dalam menentukan nilai rata – rata integral gravitasi pada gravitasi aktual sepanjang garis unting unting (*Plumbline*). Pemodelan pertama kali di perkenalkan oleh Molodensky pada tahun 1945. Yang membedakan tinggi normal dengan tinggi ortometrik adalah untuk

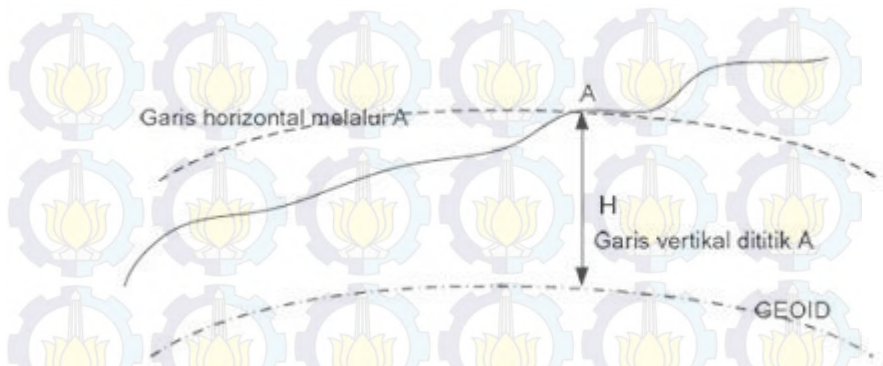
mencegah terjadi hipotesis untuk menentukan medan gravitasi pada topografi.



Gambar 2.3 Tinggi Normal
Sumber : W. E. Featherstone, 2006

2.4 Kerangka Kontrol Vertikal

Tinggi adalah perbedaan vertikal atau jarak tegak dari suatu bidang referensi yang telah ditentukan terhadap suatu titik sepanjang garis vertikalnya. Untuk suatu negara biasanya muka air laut rata-rata (*MSL*) ditentukan sebagai bidang referensinya, apabila *MSL* sebagai bidang referensinya maka perluasannya ke daratan disebut geoid/datum. (Nurjati, na).



Gambar 2.4 Tinggi Titik di Atas Permukaan Tanah
Sumber : Ira Anjasmara, 2005

2.4.1 Pengukuran Tinggi

Pengukuran tinggi merupakan penentuan beda tinggi antara dua titik. Pengukuran beda tinggi dapat ditentukan dengan tiga metode, yaitu:

- Metode Pengukuran Sipat Datar
- Metode Trigonometris
- Metode Barometris

Pengukuran beda tinggi metode sipat datar adalah proses penentuan ketinggian dari sejumlah titik atau pengukuran perbedaan elevasi. Tujuan dari pengukuran sipat datar adalah mencari beda tinggi antara dua titik yang diukur. Pengukuran beda tinggi metode trigonometris prinsipnya adalah mengukur jarak langsung (jarak miring), tinggi alat, tinggi benang tengah rambu dan sudut vertikal (zenith atau inklinasi) yang kemudian direduksi menjadi informasi beda tinggi menggunakan alat theodolite. Pengukuran beda tinggi metode barometris prinsipnya adalah mengukur beda tekanan atmosfer suatu ketinggian menggunakan alat barometer yang kemudian direduksi menjadi beda tinggi. Tingkat ketelitian yang paling tinggi dari ketiga metode tersebut adalah dengan metode pengukuran sipat datar, kemudian trigonometris dan terakhir adalah barometris. Pada prinsipnya ketiga metode tersebut layak dipakai bergantung pada situasi dan kondisi lapangan, namun karena mempertimbangkan faktor ketelitian yang didapatkan dari ketiga metode tersebut maka metode pengukuran sipat datar merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini.

2.4.2 Prinsip Pengukuran Beda Tinggi Sipat Datar

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat sipat datar (waterpass). Alat didirikan pada suatu titik yang diarahkan pada dua buah rambu yang berdiri vertikal, maka beda tinggi dapat dicari dengan melakukan pengurangan antara bacaan muka dan bacaan belakang.

Prinsip penentuan beda tinggi dengan sipat datar menggunakan garis bidik sebagai garis datar I, di titik A dan B didirikan rambu ukur secara tegak. Jarak vertikal rambu di titik A (AA1) dan BB1 dapat diukur. Pada titik A dan B angka rambu adalah nol, bila AA1 = a dan BB1 = b, maka beda tinggi A dan B (ΔH_{AB}) adalah :

$$\Delta H_{AB} = b - a \quad (2.1)$$

Dimana :

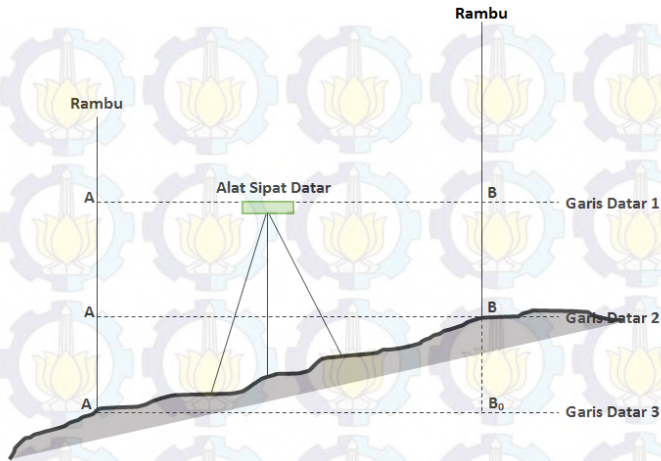
ΔH_{AB} = Beda Tinggi A dan B

b = Tinggi B

a = Tinggi A

Dimana jika :

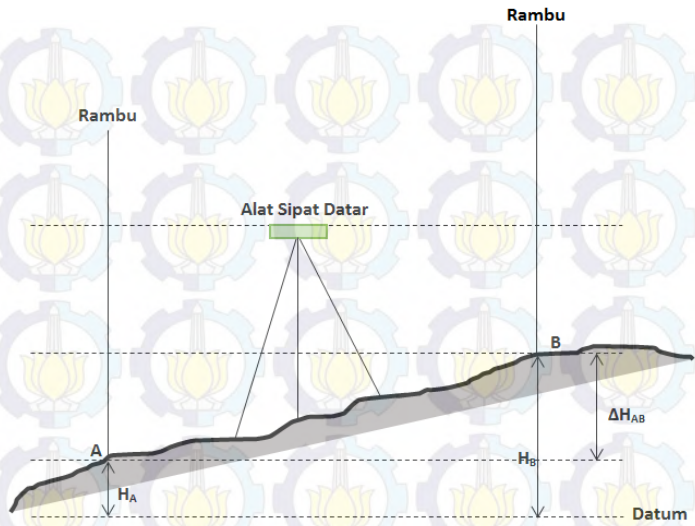
- $\Delta H_{AB} = 0$, maka A dan B mempunyai tinggi yang sama
- $\Delta H_{AB} > 0$, maka A lebih rendah dari B
- $\Delta H_{AB} < 0$, maka A lebih tinggi dari B



Gambar 2.5 Prinsip Pengukuran Beda Tinggi (dimodifikasi dari Ira Anjasmara, 2005)

2.4.3 Cara Penentuan Beda Tinggi Sipat Datar

Berikut merupakan cara menentukan beda tinggi dengan menggunakan alat waterpass. Alat diletakkan di antara dua buah rambu yang vertical, cara ini digunakan pada pengukuran sipat datar memanjang dan pada daerah yang relatif datar.



Gambar 2.6 Cara Pengukuran Beda Tinggi
Sumber : Nurjati, na

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A \rightarrow \Delta H_{AB} = BT_B - BT_A \quad (2.2)$$

Dimana:

ΔH_{AB} = Beda Tinggi Antara Titik A dan Titik B

H_A = Tinggi Titik A

H_B = Tinggi Titik B

BT_A = Bacaan Tengah Titik A

BT_B = Bacaan Tengah Titik B

2.5 Sipat Datar (Waterpass)

Alat sipat datar digunakan untuk mendapatkan garis lurus mendatar garis bidik (garis penghubung lurus pusat objektif teropong dengan perpotongan benang silang diafragma) (Nurjati, an).

Pada dasarnya alat sipat datar terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

- a. Teropong, membidik rambu (dengan garis bidik) dan memperbesar bayangan rambu.
- b. Nivo tabung, diletakkan pada teropong untuk mengatur garis bidik mendatar.
- c. Kiap (*levelling head bade plate*) padanya terdapat skrup-skrup kiap (umumnya tiga buah) dan nivo kotak yang digunakan untuk menegakkan sumbu tegak teropong.

2.5.1 Persyaratan Sipat Datar

Sebelum alat sipat datar digunakan untuk mengukur beda tinggi, ada syarat-syarat yang harus dipenuhi yaitu:

- a. Garis bidik teropong harus sejajar dengan garis arah nivo
- b. Garis arah nivo harus tegak lurus pada sumbu kesatu
- c. Garis mendatar diafragma harus tegak lurus pada sumbu kesatu

Syarat garis bidik sipat datar sejajar garis arah nivo
 Syarat ini merupakan syarat utama yang harus dipenuhi oleh alat ukur sipat datar. Adapun cara yang dilakukan untuk mengetahui garis bidik sudah sejajar dengan garis nivo adalah dengan melakukan penyentringan dengan benar, sehingga semua syarat alat terpenuhi.

Membuat sumbu I sipat datar menjadi vertikal

- Dirikan alat ukur sipat datar diatas statif dan lakukan *centering*
- Atur nivo kotak dengan skrup kiap agar gelembungnya berada ditengah-tengah lingkaran nivo kotak

Membuat garis mendatar diafragma (benang silang) tegak lurus sumbu I

- Pasang alat ukur sipat datar diatas statif dan buat sumbu I vertikal dengan mengatur nivo kotak
- Bidikkan teropong pada titik yang dibuat ditembok, himpitkan ujung kiri benang silang mendatar pada titik tersebut (misal titik P)
- Gerakkan teropong kekiri dengan memutar sekrup penggerak halus horisontal

2.5.2 Perataan Beda Tinggi Sipat Datar

Apabila pengukuran beda tinggi satu slag diukur pergi-pulang atau dua kali (*double stand*), akan didapat beda tinggi pergi (Δh_{pg}) dan beda tinggi pulang (Δh_{pl}) yang besarnya tidak selalu sama. Beda tinggi definitifnya adalah rata-rata dari Δh_{pg} dan Δh_{pl} atau secara sistematis :

$$\Delta h_{rata-rata} \text{ atau } (\Delta h_r) = \frac{\Delta h_{pg} + \Delta h_{pl}}{2} \quad (2.3)$$

Dimana :

$\Delta h_{rata-rata}$ = beda tinggi rata-rata

Δh_{pg} = beda tinggi pergi

Δh_{pl} = beda tinggi pulang

Pada pengukuran pulang pergi atau dua kali (*double stand*) pada umumnya tidak menghasilkan angka beda tinggi yang sama. Angka atau besaran yang menyatakan bahwa pengukuran beda tinggi tersebut diterima atau tidak dinamakan toleransi. Apabila selisih pengukuran pulang pergi atau dua kali (*double stand*) sama dengan atau lebih kecil dari ($<$) toleransi, maka pengukuran tersebut diterima. Sebaliknya apabila pengukuran pulang pergi atau dua kali (*double stand*) lebih besar dari ($>$) toleransi, maka akan ditolak atau tidak diterima yang berarti pengukuran harus diulang. Apabila akan dicari beda tinggi antar *slag* secara definitif maka Δh_{pg} atau Δh_{pl} dikoreksi sebanding dengan jarak-jaraknya, atau:

$$\varepsilon h_i = \frac{d_i}{\Sigma d} \times fh \quad (2.4)$$

Dimana :

εh_i = Koreksi Beda Tinggi Slag ke I

d_i = Jarak Slag ke i

Σd = Jumlah Jarak Dalam Seksi

fh = Kesalahan atau Penyimpangan

Pengukuran

Apabila pengukuran terdiri dari beberapa seksi dan berbentuk tertutup (*loop/sircuit*), maka persyaratan untuk setiap seksi sendiri harus $<$ toleransi, demikian pula untuk syarat pengukuran tertutup juga harus $<$ toleransi. Untuk pengukuran tertutup, selain syarat di atas, juga ada syarat

lain yaitu jumlah beda tinggi rata-rata loop seksi harus sama dengan nol, atau

$$\sum \Delta h_{RS} = 0 \quad (2.5)$$

Jika tidak sama dengan nol (0), maka besaran tersebut dinamakan kesalahan penutup beda tinggi atau fH . Apabila harga fH ini \leq toleransi, maka pengukuran diterima. Untuk memenuhi syarat (2.6) maka beda tinggi rata-rata setiap seksi dikoreksi sebesar:

$$\varepsilon H = \frac{D_i}{\sum D} \times fH \quad (2.6)$$

Dimana:

εH_i = Koreksi Beda Tinggi Seksi ke I

D_i = Jarak Seksi ke i (Jarak Rata-Rata Pergi-Pulang/*Double Stand*)

$\sum D$ = Jumlah Jarak Pengukuran Tertutup

fH = Kesalahan Penutup Tinggi

2.5.3 Perataan Metode Parameter

Perataan Metode Parameter merupakan metode perataan kuadrat terkecil dengan model matematik yang disusun berdasarkan parameter. Rumus umum perataan parameter dengan menggunakan bobot pengukuran adalah sebagai berikut.

$$W \cdot A \cdot X + B = W \cdot L + W \cdot V \quad (2.7)$$

Dimana :

W = Matriks Bobot

A	=	Matriks Parameter
X	=	Matriks Titik yang dicari
L	=	Matriks Elevasi Awal Titik yang dicari
V	=	Matriks Residu

Berdasarkan rumus umum di atas, maka untuk mencari ketinggian dari setiap titik dapat digunakan rumus seperti dibawah ini.

$$X = N^{-1} \cdot (A^T \cdot W \cdot L) \quad (2.8)$$

Dengan :

X	=	Matriks Titik yang dicari
N^{-1}	=	Matriks
A^T	=	Matriks Parameter Transpose
W	=	Matriks Bobot
L	=	Matriks Elevasi Awal Titik yang dicari

Untuk menghitung nilai matriks N digunakan rumus sebagai berikut.

$$N = A^T \cdot W \cdot A \quad (2.9)$$

Dimana :

N	=	Matriks
A^T	=	Matriks Parameter Transpose
W	=	Matriks Bobot
A	=	Matriks Parameter

Setelah nilai didapat maka dilanjutkan dengan menghitung nilai ketinggian dari setiap titik yang diinginkan dengan menggunakan rumus seperti pada rumus (2.9). Untuk menghitung matriks residual (V) dapat digunakan rumus seperti berikut.

$$V = A \cdot X - L \quad (2.10)$$

Dimana :

V = Matriks Residu

A = Matriks Parameter

X = Matriks Titik yang dicari

L = Matriks Elevasi Awal Titik yang dicari

Untuk mencari standar deviasi dari pengukuran yang telah dilakukan, digunakan rumus sebagai berikut.

$$SD = \frac{V^T W V}{m-n} \quad (2.11)$$

Dimana :

SD = Standar Deviasi

V^T = Matriks Residu Transpose

W = Matriks Bobot

V = Matriks Residu

m = Jumlah Parameter

n = Jumlah Titik yang Dicari

2.5.4 Perataan Metode Bersyarat

Perataan bersyarat digunakan untuk mencari kesalahan dan ketelitian pengukuran. Perbedaan antara perataan parameter dan bersyarat adalah pada perataan bersyarat, nilai yang dicari adalah kesalahan pengukuran. Setelah mendapatkan nilai dari kesalahan pengukuran, baru dilanjutkan dengan mencari hasil elevasi tiap-tiap titik dari nilai kesalahan yang didapatkan.

Hal pertama yang dilakukan dalam perataan bersyarat adalah mencari matriks L sesuai persamaan yang disusun berdasarkan *loop* dari pengukuran yang sesuai dengan persamaan berikut.

$$A \cdot V = L \quad (2.12)$$

Dimana :

A = Matriks Persamaan Bersyarat

V = Matriks Residu

L = Matriks Kesalahan Penutup Tiap *Loop*

Berikutnya mencari nilai dari matriks Q_c , dan W_c yang merupakan invers dari matriks Q_c sesuai rumus berikut ini.

$$Q_c = A \cdot A^t \quad (2.13)$$

$$W_c = Q_c^{-1} \quad (2.14)$$

Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk matriks k sesuai dengan rumus berikut.

$$k = W_c \cdot L \quad (2.15)$$

Hal selanjutnya yang dilakukan adalah mencari nilai dari matriks residual V sesuai dengan rumus berikut ini.

$$V = A^t \cdot k \quad (2.16)$$

Setelah mendapatkan nilai dari matriks residual V , maka dilanjutkan dengan perhitungan nilai standar deviasi pengukuran sesuai dengan rumus (2.11).

2.6 Regresi Linier

Regresi linier merupakan bentuk hubungan di mana variabel bebas X maupun variabel tergantungan Y sebagai faktor yang berpangkat satu (Syafuruddin, 2014). Ada berbagai model regresi linier seperti :

2.6.1 Regresi Linier Sederhana

Bentuk hubungan yang paling sederhana antara variabel X dengan variabel Y adalah berbentuk garis lurus atau berbentuk hubungan linier yang disebut dengan regresi liniersederhanaatau sering disebut regresi linier saja dengan persamaan matematikanya adalah sebagai berikut (Syafuruddin, 2014):

$$Y = a + bX \quad (2.17)$$

Dimana :

Y = subyek dalam variabel dependen yang diprediksikan

a = koefisien regresi bila $X = 0$ (harga konstan)

b = koefisien regresi, yang menunjukkan angka peningkatan ataupun penurunan variabel dependen yang didasarkan pada variabel independen. Bila b (+) maka naik, dan bila (-) maka terjadi penurunan.

X = subyek pada variabel Independen yang mempunyai nilai tertentu.

2.6.2 Regresi Linier Polinomial

Regresi polynomial adalah regresi dengan sebuah variable bebas sebagai factor dengan pangkat terurut. Bentuk – bentuk fungsi regresi polynomial adalah sebagai berikut (Syafuruddin, 2014):

$$y = a_0 + a_1x + a_mx^m \quad (2.18)$$

Dimana :

Y = Variabel terikat oleh x

X = Variabel bebas

a = Koefisien

m = Derajat polinomial

2.6.3 Pengujian Persamaan

Uji hubungan keeratan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah uji hubungan keeratan dengan menggunakan uji r digunakan rumus sebagai berikut (Syafuruddin, 2014):

$$r = \frac{n \sum XiYi - \sum Xi \sum Yi}{\sqrt{\{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2\} \{n \sum Yi^2 - (\sum Yi)^2\}}} \quad (2.19)$$

Tabel 2.1 Tabel Hubungan Nilai R_{xy}

Sumber : Syarifuruddin, 2014

Besar R_{xy}	Keterangan
0,00 - < 0,20	Hubungan sangat lemah (diabaikan, dianggap tidak ada)
$\leq 0,20$ - < 0,40	Hubungan sangat lemah atau rendah
$\leq 0,40$ - < 0,7	Hubungan cukup baik
$\leq 0,7$ - < 0,9	Hubungan kuat
$\leq 0,9$ - < 1	Hubungan sangat erat

Tabel diatas menjelaskan parameter hubungan keeratan antara variable x dan y yang disimbolkan dengan r. Apabila nilai r dibawah 0,20 maka hubungan antara variable x dan y sangat lemah dan apabila nilai r lebih dari 0,9 maka hubungan antara x dan y sangat erat.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di Kota Surabaya yaitu di jembatan MERR II-C. Secara Geografis terletak pada $7^{\circ}18'33''$ - $7^{\circ}18'40''$ LS dan $112^{\circ}46'49''$ - $112^{\circ}46'50''$ BT .



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian
Sumber : Google Earth, 2015

3.2 Data dan peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hasil pengukuran lapangan dengan metode sipat datar yang dilakukan selama 3 kala.

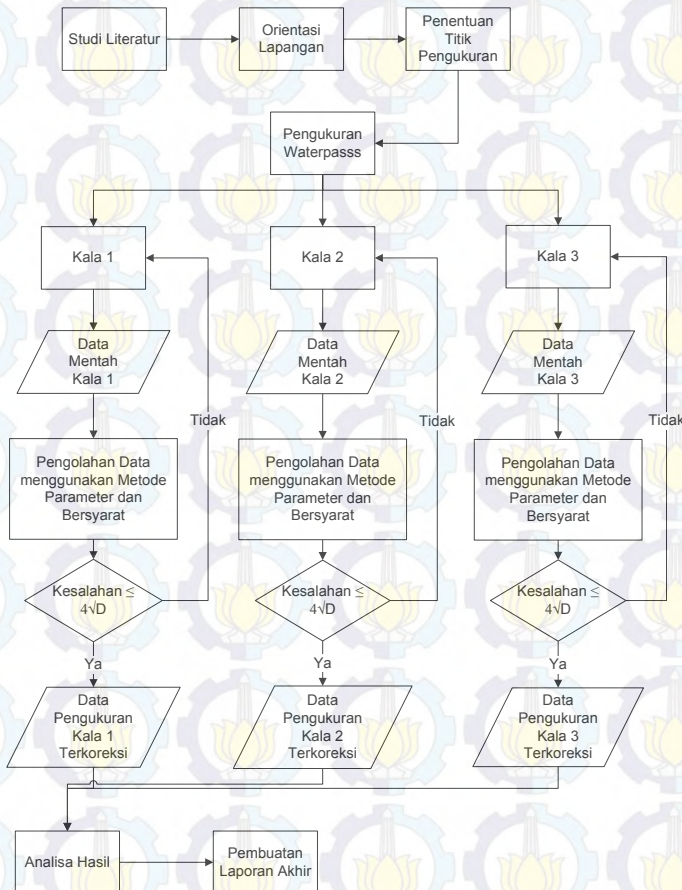
3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a) Hardware
 - Waterpass
 - Statif
 - Payung
 - Form Pengukuran
 - Alat tulis
- b) Software
 - Microsoft Office 2010 untuk pembuatan laporan
 - Microsoft Excel 2010 untuk perhitungan perataan parameter dan bersyarat.

3.3 Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahapan dimana proses pengidentifikasian awal untuk penelitian ini dilakukan. Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan pengukuran waterpass, *land subsidence*, *uplift*, jembatan, dan literatur lain yang mendukung baik dari buku, jurnal, internet dan lain sebagainya. Selain studi literatur dilakukan pula orientasi lapangan yang dimaksudkan untuk mengetahui daerah/medan yang akan dijadikan tempat penelitian serta penentuan titik-titik yang nantinya akan digunakan untuk pengambilan data.

3.3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengambilan data langsung ke lapangan dengan melakukan pengukuran sipat datar di area jembatan MERR II-C. Pengukuran dilakukan dengan *double stand*. Terdapat 10 titik yang akan diukur, yaitu titik BM, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 dengan titik BM sebagai titik ikatnya. Berikut adalah langkah-langkah pengukuran waterpass di lapangan.

1. Pengukuran dibagi ke dalam 12 seksi dan 3 kerangka, dimana tiap seksi dibagi menjadi beberapa slag yang berjumlah genap. Pada tiap slag dilakukan metode *double stand*, yaitu 2 kali pengukuran dengan tinggi alat dan letak alat yang berbeda.
2. *Double stand* dilakukan dengan cara meletakkan alat di tengah 2 titik yang akan diukur beda tingginya, misal titik 1 dan 2. Kemudian baca bacaan rambu pada titik 1, kemudian dilanjutkan dengan membaca bacaan rambu pada titik 2, kemudian ubah tinggi alatnya dengan menurunkan atau meninggikan statif serta menggeser

alat, kemudian baca bacaan rambu mulai dari titik 2 ke titik 1.

3. Pengukuran dimulai dengan seksi BM-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-BM, 2-8, 3-7.



Gambar 3.3 Persebaran titik pengukuran di lapangan beserta jalur pengukuran.

Sumber : Google Earth, 2015

3.3.3 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang telah didapat di lapangan. Proses pengolahan data dilakukan dengan bantuan software Microsoft Excel 2010. Metode pengolahan data yang digunakan adalah dengan metode parameter.

Penjelasan proses pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data pengukuran awal

Data pengukuran awal ini didapat setelah melakukan pengukuran di lapangan. Data awal akan langsung diolah setiap selesai 1 kala pengukuran.

2. Pengolahan data

Setelah data pengukuran awal didapat, data ini kemudian akan diolah dengan menggunakan bantuan software Microsoft Excel dan dengan memakai metode parameter dan bersyarat. Dalam hal ini toleransi yang dipakai adalah toleransi dalam orde 1 yaitu $4\sqrt{D}$, dimana D adalah total jarak pengukuran. Apabila hasil yang didapat tidak memenuhi toleransi maka dilakukan pengukuran ulang.

3. Data pengukuran terkoreksi

Setelah data yang diolah memenuhi toleransi yang ditentukan maka akan diperoleh data yang sudah terkoreksi. Data inilah yang dapat digunakan untuk dianalisa pada tahap analisa dan hasil

3.3.4 Tahap Analisa dan Hasil

Pada tahap ini, data yang sudah terkoreksi pada tahapan sebelumnya dianalisa apakah terjadi perubahan beda tinggi atau tidak. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan laporan akhir penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil

4.1.1 Pengukuran Waterpass

Pengukuran waterpass bertujuan untuk mendapatkan nilai beda tinggi dari tiap titik dengan titik BM sebagai titik referensi yg tidak terikat dengan struktur jembatan. Nilai-nilai beda tinggi hasil dari pengukuran waterpass selanjutnya akan dilakukan perataan guna mengetahui dan mengeliminasi kesalahan.

Pengukuran dilakukan secara berkala yang berjumlah 3 kala dengan rentang waktu 24 hari. Berikut adalah nilai beda tinggi antar titik sebelum dilakukan perataan, yang merupakan hasil dari pengukuran kala pertama tanggal 7 Oktober 2015.

Tabel 4.1 Tabel Beda Tinggi Hasil Pengukuran Kala 1, Kala 2,
Dan Kala 3

Sesi	Beda tinggi/ Δh (m)					
	Kala 1		Kala 2		Kala 3	
	Stand 1	Stand 2	Stand 1	Stand 2	Stand 1	Stand 2
BM						
1	0.833	-0.831	0.831	-0.830	0.830	-0.831
1						
2	0.676	-0.675	0.678	-0.676	0.678	-0.679
2						
3	-0.013	0.013	-0.016	0.014	-0.014	0.017
3						
4	-2.557	2.557	-2.558	2.558	-2.562	2.560

Lanjutan dari Tabel 4.1

Sesi	Beda tinggi/ Δh (m)					
	Kala 1		Kala 2		Kala 3	
	Stand 1	Stand 2	Stand 1	Stand 2	Stand 1	Stand 2
4	0.163	-0.161	0.164	-0.161	0.158	-0.158
5						
5	0.683	-0.682	0.672	-0.671	0.682	-0.685
6						
6	1.118	-1.121	1.129	-1.126	1.131	-1.131
7						
7	0.375	-0.374	0.378	-0.379	0.375	-0.377
8						
8	-0.731	0.731	-0.728	0.73	-0.728	0.727
9						

Setelah mendapatkan hasil data beda tinggi, dapat dihitung elevasi tiap titiknya dengan titik BM sebagai acuan. Referensi yang dipakai adalah referensi lokal, sehingga titik BM sebagai referensi memiliki nilai elevasi 0 m. Berikut adalah elavasi tiap titik pada 3 kala pengukuran.

Tabel 4.2 Tabel Elevasi Tiap Titik Sebelum Perataan

Titik	Elevasi (m)		
	Kala 1	Kala 2	Kala 3
1	0.833	0.831	0.830
2	1.509	1.509	1.508
3	1.496	1.493	1.494
4	-1.061	-1.065	-1.068
5	-0.898	-0.901	-0.91

Lanjutan dari Tabel 4.2

Titik	Elevasi (m)		
	Kala 1	Kala 2	Kala 3
6	-0.215	-0.229	-0.228
7	0.903	0.900	0.903
8	1.278	1.278	1.278
9	0.547	0.550	0.550

4.1.2 Perataan Parameter

Beda tinggi yang didapatkan dari hasil pengukuran masih harus diratakan lagi, hal ini dilakukan untuk mengeliminasi kesalahan pada pengukuran. Perataan parameter dilakukan dengan menggunakan rumus umum yaitu seperti pada rumus (2.7). Sebelum menghitung nilai ketinggian (elevasi) dari setiap titik, terlebih dahulu harus dihitung nilai dari matriks dan juga matriks bobot yang digunakan. Matriks bobot yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan pada jarak pengukuran dari setiap slag yang ada, dimana matriks bobot yang didapat pada kala 1 adalah sebagai berikut.

$$W = \begin{bmatrix} 8.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 13.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 13.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13.7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 29.9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30.8 \end{bmatrix}$$

Setelah mengetahui nilai dari matriks bobot, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai dari matriks N

sesuai rumus (2.9). Berikut adalah matriks N untuk kala 1.

$$N = \begin{bmatrix} 21.5 & -13.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -13.5 & 56.9 & -12.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & -30.8 & 0 \\ 0 & -12.6 & 48.5 & -6.1 & 0 & 0 & -29.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6.1 & 19.3 & -13.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -13.2 & 21.2 & -7.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7.9 & 14.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -29.9 & 0 & 0 & -6.9 & 50.5 & -13.7 & 0 \\ 0 & 30.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & -13.7 & 58.4 & -13.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -13.9 & 33.9 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapatkan nilai N, yang dilakukan selanjutnya adalah mencari nilai matriks X dari setiap. Nilai matriks X tersebut adalah nilai dari elevasi tiap titik yang sudah diratakan. Berikut matriks X dari pengukuran kala 1.

$$X = \begin{bmatrix} 0.83086 \\ 1.505592 \\ 1.492455 \\ -1.06366 \\ -0.900249 \\ -0.216567 \\ 0.902216 \\ 1.277091 \\ 0.544859 \end{bmatrix}$$

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari matriks residual V. Matriks residual berisi nilai-nilai kesalahan dari pengukuran. Matriks residual digunakan untuk mencari nilai standar deviasi dari pengukuran.

Berikut hasil dari perhitungan matriks residual kala 1 menggunakan rumus (2.10).

$$V = \begin{bmatrix} -0.00214 \\ -0.001267 \\ -0.000137 \\ 0.000885 \\ 0.000411 \\ 0.000682 \\ 0.000783 \\ -0.000125 \\ -0.001231 \\ -0.000859 \\ -0.000239 \\ -0.000502 \end{bmatrix}$$

Berikut hasil dari perhitungan standar deviasi dari pengukuran kala 1 sesuai dengan rumus (2.11).

$$SD = 0.002 \text{ m}$$

Tabel- tabel di bawah ini adalah hasil dari nilai elevasi tiap titik dari masing-masing pengukuran dan standar deviasinya.

Tabel 4.3 Tabel Elevasi Tiap Titik Setelah Perataan Parameter

Titik	Elevasi (m)		
	Kala 1	Kala 2	Kala 3
1	0.831	0.828	0.830
2	1.506	1.505	1.508
3	1.492	1.489	1.495
4	-1.064	-1.068	-1.068
5	-0.900	-0.903	-0.910
6	-0.217	-0.230	-0.228
7	0.902	0.900	0.902

Lanjutan dari Tabel 4.3

Titik	Elevasi		
	Kala 1	Kala 2	Kala 3
8	1.277	1.278	1.278
9	0.545	0.548	0.550

Tabel 4.4 Tabel Standar Deviasi Perataan Parameter Tiap Pengukuran.

Standar Deviasi		
Kala 1	Kala 2	Kala 3
0.002	0.002	0.001

4.1.3 Perataan Bersyarat

Perataan bersyarat digunakan untuk mencari kesalahan dan ketelitian pengukuran. Perbedaan antara perataan parameter dan bersyarat adalah pada perataan bersyarat, nilai yang dicari adalah kesalahan pengukuran. Setelah mendapatkan nilai dari kesalahan pengukuran, baru dilanjutkan dengan mencari hasil elevasi tiap-tiap titik dari nilai kesalahan yang didapatkan.

Hal pertama yang dilakukan dalam perataan bersyarat adalah mencari matriks L sesuai persamaan yang disusun berdasarkan *loop* dari pengukuran. Hasilnya adalah sebagai berikut untuk kala 1.

$$L = \begin{bmatrix} -0.006 \\ 0 \\ 0.003 \end{bmatrix}$$

Berikutnya mencari nilai dari matriks Q_c dan W_c yang merupakan invers dari matriks Q_c sesuai rumus. Hasilnya adalah sebagai berikut.

$$Q_c = \begin{bmatrix} 5 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 4 \end{bmatrix}$$

$$W_c = \begin{bmatrix} 0.211268 & 0.056338028 & 0.014085 \\ 0.056338 & 0.281690141 & 0.070423 \\ 0.014085 & 0.070422535 & 0.267606 \end{bmatrix}$$

Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk matriks k sesuai dengan rumus. Berikut hasil dari perhitungan matriks k .

$$k = \begin{bmatrix} -0.001225352 \\ -0.000126761 \\ 0.00071831 \end{bmatrix}$$

Hal selanjutnya yang dilakukan adalah mencari nilai dari matriks residual V sesuai dengan rumus. Berikut adalah hasilnya.

$$V = \begin{bmatrix} -0.001225352 \\ -0.001225352 \\ -0.000126761 \\ 0 \\ 0.00071831 \\ 0.00071831 \\ 0.00071831 \\ -0.000126761 \\ -0.001225352 \\ -0.001225352 \\ -0.00084507 \\ -0.001098592 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapatkan nilai dari matriks residual V , maka dilanjutkan dengan perhitungan nilai standar deviasi pengukuran sesuai dengan rumus (2.11). Hasilnya adalah sebagai berikut.

$$SD = 0.002 \text{ m}$$

Untuk mendapatkan nilai elevasi dari tiap titik dilakukan koreksi pada tiap-tiap sesuai dengan rumus. Berikut adalah hasil dari setiap kala pengukuran yang sudah diratakan dengan metode bersyarat.

Tabel 4.5 Tabel Elevasi Tiap Titik Setelah Perataan Bersyarat

Titik	Elevasi (m)		
	Kala 1	Kala 2	Kala 3
1	0.832	0.830	0.830
2	1.507	1.508	1.508
3	1.493	1.492	1.495
4	-1.064	-1.066	-1.067
5	-0.900	-0.902	-0.910
6	-0.216	-0.231	-0.228
7	0.903	0.898	0.902
8	1.277	1.276	1.278
9	0.545	0.548	0.550

Tabel 4.6 Tabel Standar Deviasi Perataan Parameter Tiap Pengukuran.

Standar Deviasi		
Kala 1	Kala 2	Kala 3
0.002	0.001	0.001

4.2 Analisa

4.2.1 Analisa Toleransi Pengukuran

Penelitian ini menggunakan orde 1 dengan toleransi kesalahan maksimal yang diperbolehkan adalah $\leq 4\sqrt{D}$, dimana D adalah total jarak dari pengukuran yang dilakukan.

Total jarak pengukuran dari masing-masing pengukuran untuk kala 1, kala 2, dan kala 3 secara berurutan adalah 948.4 m, 971.7 m, dan 975.7 m. Sedangkan untuk toleransinya sendiri adalah 3.895 mm, 3.943 mm, dan 3.951 mm untuk kala 1, 2, dan 3 secara berurutan. Dengan demikian, dapat dilihat bahwa nilai-nilai standar deviasi dari tiap-tiap pengukuran, baik itu dari perataan parameter maupun bersyarat memenuhi syarat toleransi pengukuran yang diperlukan untuk pengukuran orde 1.

4.2.2 Analisa Perubahan Elevasi

4.2.2.1 Perataan Parameter

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode perataan parameter yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa ada perubahan nilai elevasi yang terjadi antar tiap-tiap kala pengukuran. Perubahan-perubahan yang terjadi dari nilai-nilai elevasi berdasarkan referensi lokal adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Tabel Perubahan Elevasi Tiap Titik Berdasarkan Kala Pengukuran Dengan Perataan Parameter

Titik	Perubahan elevasi (m)		
	Kala 1 – 2	Kala 2 - 3	Kala 1 – 3
1	-0.003	+0.002	-0.001
2	-0.001	+0.004	+0.003
3	-0.004	+0.007	+0.003
4	-0.004	0	-0.004

Lanjutan dari Tabel 4.7

Titik	Perubahan elevasi (m)		
	Kala 1 - 2	Kala 2 - 3	Kala 1 - 3
5	-0.003	-0.007	-0.010
6	-0.014	0.002	-0.012
7	-0.003	0.002	0.000
8	0.001	0.000	0.001
9	0.003	0.002	0.005

4.2.2.2 Perataan Bersyarat

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode perataan bersyarat, dapat diketahui bahwa ada perubahan nilai elevasi yang terjadi antar tiap-tiap kala pengukuran. Berikut adalah perubahan yang terjadi.

Tabel 4.8 Tabel Perubahan Elevasi Tiap Titik Berdasarkan Kala Pengukuran Dengan Perataan Bersyarat

Titik	Perubahan elevasi (m)		
	Kala 1 - 2	Kala 2 - 3	Kala 1 - 3
1	-0.001	0	-0.001
2	+0.001	+0.001	+0.002
3	-0.002	+0.003	+0.001
4	-0.003	-0.001	-0.004
5	-0.003	-0.007	-0.010
6	-0.014	+0.002	-0.012
7	-0.004	+0.004	0
8	-0.001	+0.001	0
9	+0.002	+0.002	+0.004

Dilihat dari kedua tabel diatas, telah terjadi perubahan elevasi pada tiap-tiap titik di atas jembatan MERR II-C pada setiap kala pengukuran. Perubahan yang terjadi pada setiap titik dan tiap kala berbeda-beda. Dari perbandingan untuk kala 1 ke kala 2 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan serta kenaikan dengan besaran yang berbeda-beda pada tiap titik dan metode perataan yang digunakan. Penurunan terjadi pada titik 3-8, sedangkan kenaikan terjadi pada titik 1 dan 9. Untuk nilai nilai elevasinya dapat dilihat pada tabel.

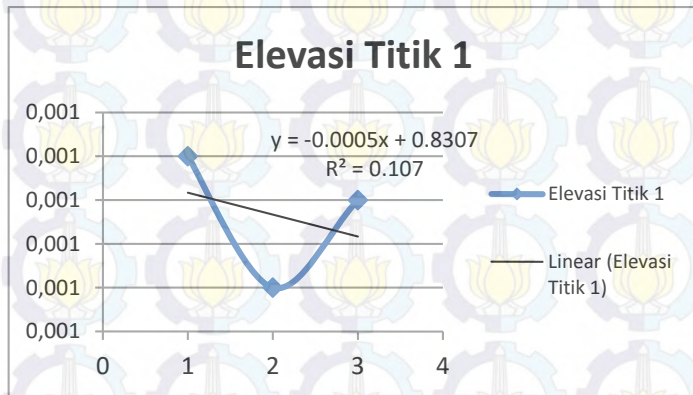
Pada perbandingan untuk kala 2 ke kala 3, pada sebagian besar titik terjadi kenaikan elevasi, titik-titik tersebut adalah titik 2, 3, 6, 7, 8, dan 9. Sedangkan untuk titik 1, 4, dan 5 mengalami penurunan. Tiap-tiap perubahan nilai elevasi terjadi dengan variasi yang berbeda-beda tiap titik dan metode perataan yang digunakan dan bisa dilihat pada tabel. Begitu juga untuk perbandingan kala 1 ke kala 3, dimana terjadi penurunan pada titik 1, 4, 5, 6, dan 7 serta kenaikan pada titik 2, 3, 8, dan 9.

Perubahan terbesar dapat dilihat pada titik 6 sebesar -11.89 untuk perataan parameter dan -12.15 mm untuk perataan bersyarat, dan perubahan terkecil pada titik 8 sebesar -0.76 mm untuk perataan parameter dan -0.3 mm untuk perataan bersyarat. Dilihat dari perbandingan elevasi pada tiap kala di atas, dapat disimpulkan bahwa ada perubahan elevasi yang terjadi pada tiap titik, dimana nilai perubahannya bervariasi tiap titiknya. Hasil yang didapat tentunya akan lebih baik jika kala pengukuran dilakukan dengan rentang waktu yang cukup jauh, misalnya setahun sekali.

4.2.3 Analisa Regresi Linier

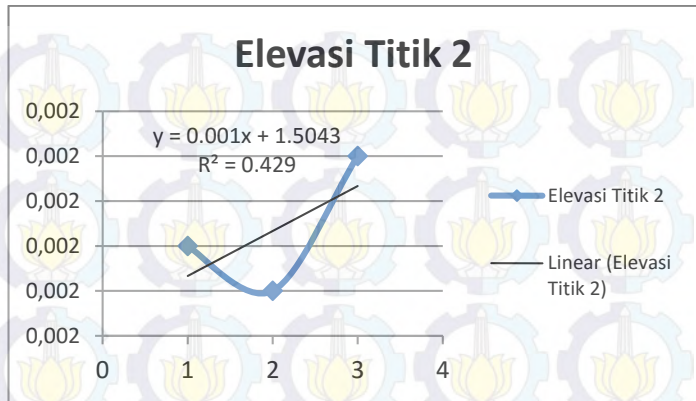
4.2.3.1 Perataan Parameter

Berikut adalah grafik regresi linier masing-masing titik beserta R^2 -nya untuk elevasi dari hasil perataan parameter.



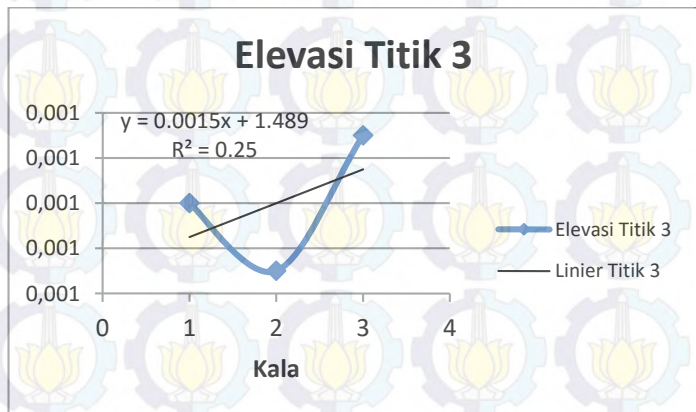
Gambar 4.1 Grafik Regresi Linier Titik 1 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 1 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0005x + 0.8307$. Nilai R^2 untuk titik 1 adalah 0.107 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat lemah dan dianggap tidak ada.



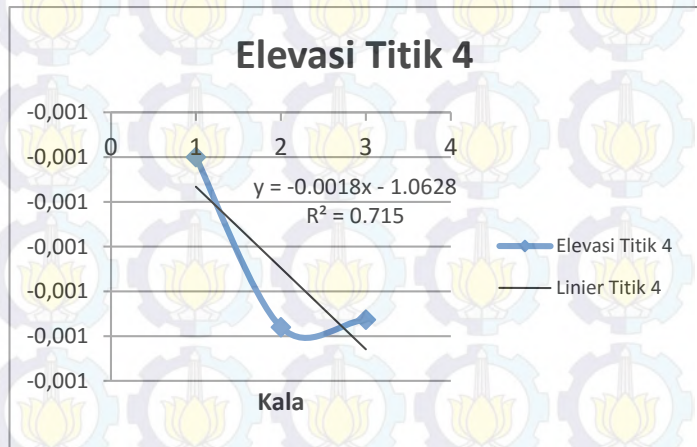
Gambar 4.2 Grafik Regresi Linier Titik 2 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 2 terjadi kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.0001x + 1.5043$. Nilai R^2 untuk titik 2 adalah 0.429 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah cukup baik.



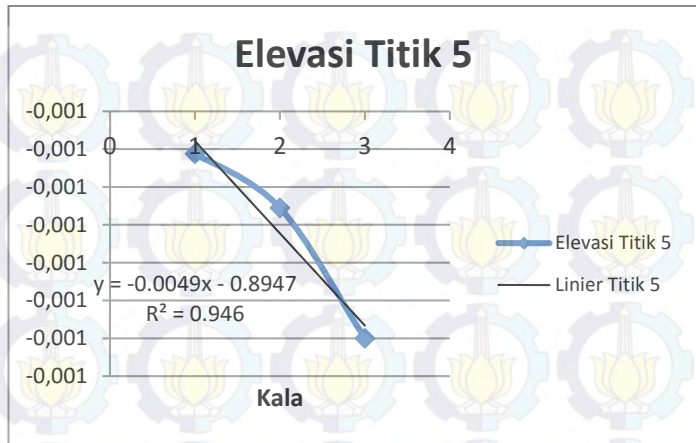
Gambar 4.3 Grafik Regresi Linier Titik 3 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 3 terjadi kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.0015x + 1.489$. Nilai R^2 untuk titik 3 adalah 0.429 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah lemah.



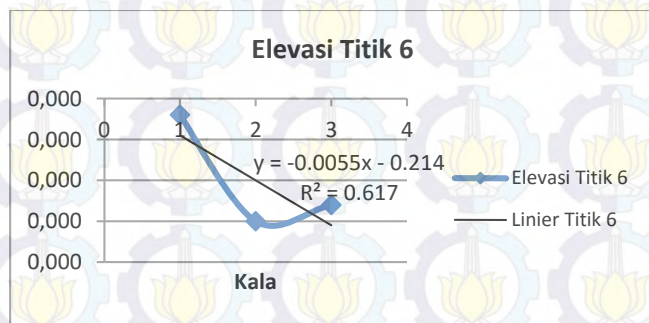
Gambar 4.4 Grafik Regresi Linier Titik 4 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 4 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0018x - 1.0628$. Nilai R^2 untuk titik 4 adalah 0.715 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah kuat.



Gambar 4.5 Grafik Regresi Linier Titik 5 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 5 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0049x - 0.8947$. Nilai R^2 untuk titik 5 adalah 0.946 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah kuat.



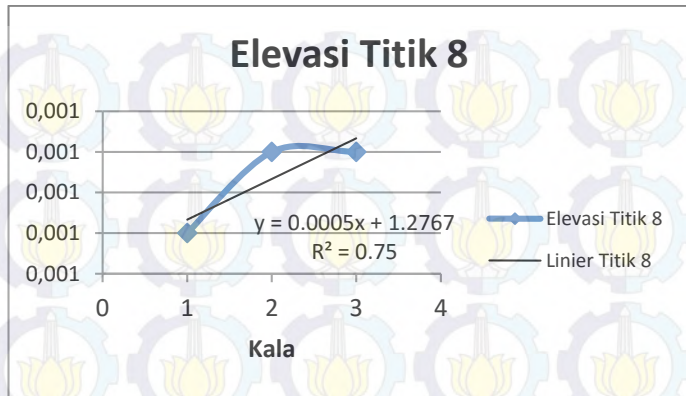
Gambar 4.6 Grafik Regresi Linier Titik 6 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 6 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0055x - 0.214$. Nilai R^2 untuk titik 6 adalah 0.617 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah cukup baik.



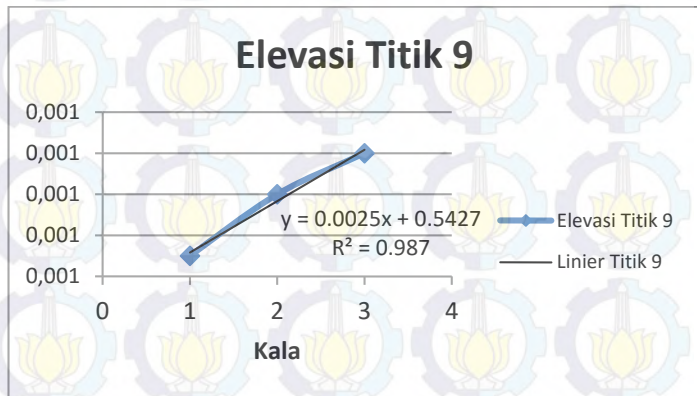
Gambar 4.7 Grafik Regresi Linier Titik 7 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 7 tidak terjadi penurunan maupun kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -6E-16x + 0.9013$. Nilai R^2 untuk titik 7 adalah $3E-25$ yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat lemah dan dianggap tidak ada.



Gambar 4.8 Grafik Regresi Linier Titik 8 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 8 terjadi kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.0005x + 1.2767$. Nilai R^2 untuk titik 8 adalah 0.75 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah kuat.



Gambar 4.9 Grafik Regresi Linier Titik 9 untuk Perataan Parameter

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 9 terjadi kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.0025x + 0.5427$. Nilai R^2 untuk titik 9 adalah 0.987 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat kuat.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan hubungan antara variabel x dan y yang diambil dari R^2 tiap titik.

Tabel 4.9 Tabel R^2 Tiap Titik untuk Perataan Parameter

Titik	R^2	Hubungan
1	0.107	Sangat Lemah
2	0.429	Cukup Baik
3	0.25	Lemah
4	0.715	Kuat
5	0.946	Sangat Kuat
6	0.617	Cukup Baik
7	0	Sangat Lemah
8	0.75	Kuat
9	0.987	Sangat Erat

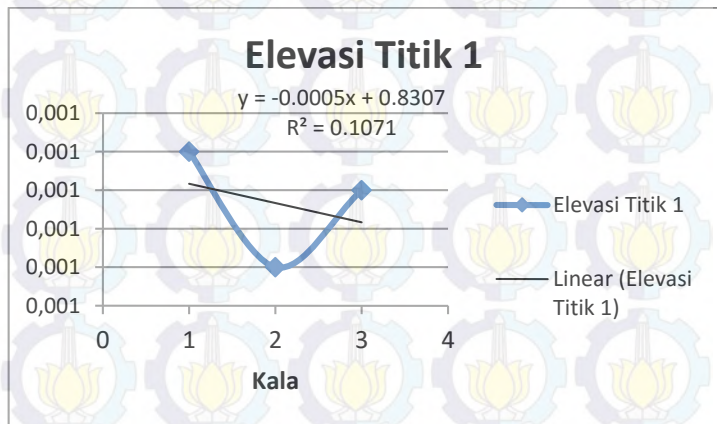
Dari tabel tersebut, terdapat dua titik yang memiliki hubungan sangat lemah dan dapat dianggap tidak ada hubungannya, yaitu titik 1 dan 7 yang berada di antara 0.00 dan 0.20. Titik 3 berada di antara 0.20 dan 0.40 yang berarti memiliki hubungan rendah. Titik 2 dan 6 berada di antara 0.40 dan 0.70 yang berarti memiliki hubungan yang cukup baik. Hubungan yang kuat dimiliki oleh titik 4 dan 8 dengan rentang nilai yang berada di antara 0.70 dan 0.90. Sedangkan titik dengan hubungan yang sangat kuat adalah titik 5 dan 9.

Dari tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa data yg didapatkan masih kurang bagus, dimana titik yg memiliki R^2 lebih dari 0.7 yang dikategorikan memiliki

hubungan yang kuat hanya ada empat titik. Hal ini kemungkinan terjadi karena adanya kendala di lapangan saat pengukuran, yaitu padatnya lalu lintas yang melintasi struktur jembatan. Hal tersebut memungkinkan terjadinya perubahan elevasi jembatan dari elevasi yang sebenarnya dikarenakan oleh beban berat yang diterima jembatan.

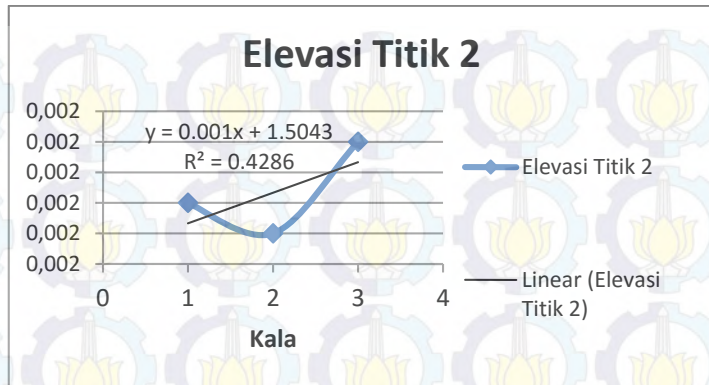
4.2.3.2 Perataan Bersyarat

Berikut adalah grafik regresi linier masing-masing titik beserta R^2 -nya untuk elevasi dari hasil perataan parameter.



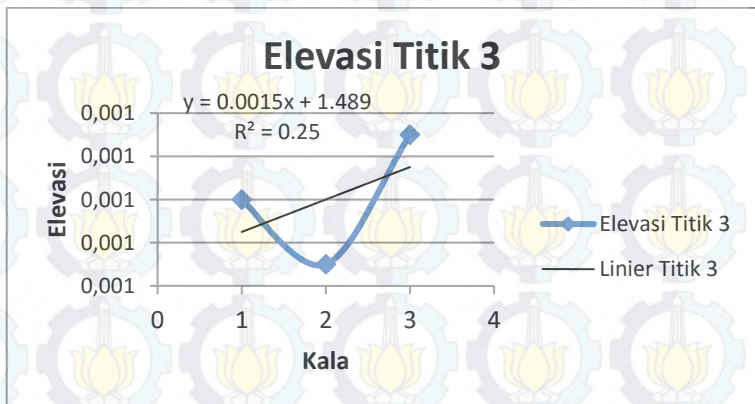
Gambar 4.10 Grafik Regresi Linier Titik 1 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 1 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0005x + 0.8313$. Nilai R^2 untuk titik 1 adalah 0.75 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah kuat.



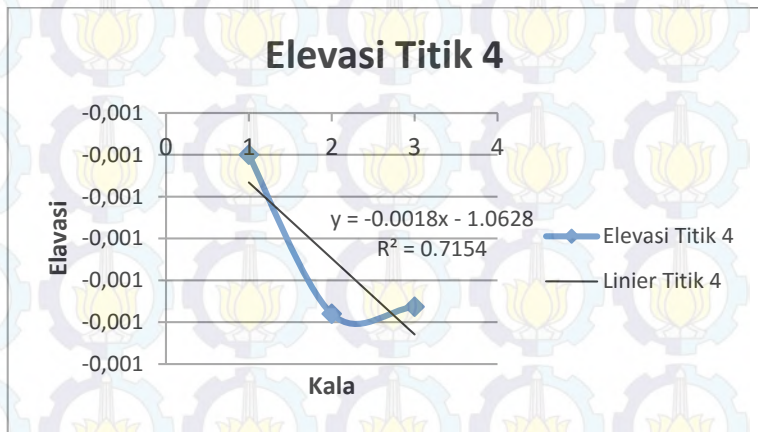
Gambar 4.11 Grafik Regresi Linier Titik 2 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 2 terjadi kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.001x + 1.505$. Nilai R^2 untuk titik 2 adalah 1 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat kuat.



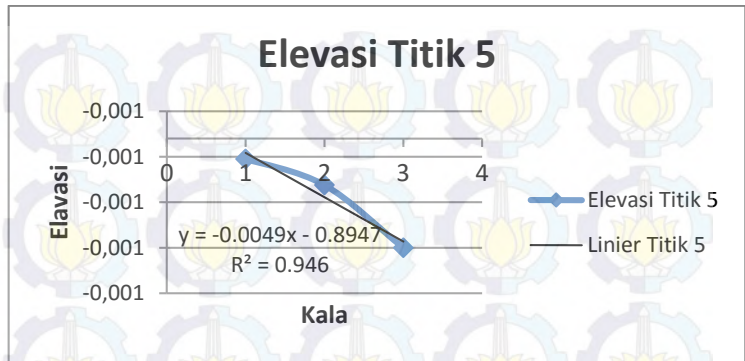
Gambar 4.12 Grafik Regresi Linier Titik 3 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 3 terjadi kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.0005x + 1.4917$. Nilai R^2 untuk titik 3 adalah 0.107 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat lemah dan dianggap tidak ada.



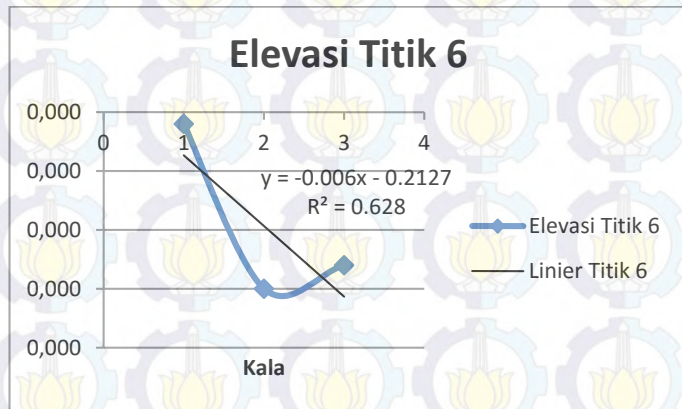
Gambar 4.13 Grafik Regresi Linier Titik 4 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 4 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.002x - 1.0613$. Nilai R^2 untuk titik 4 adalah 0.923 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat kuat.



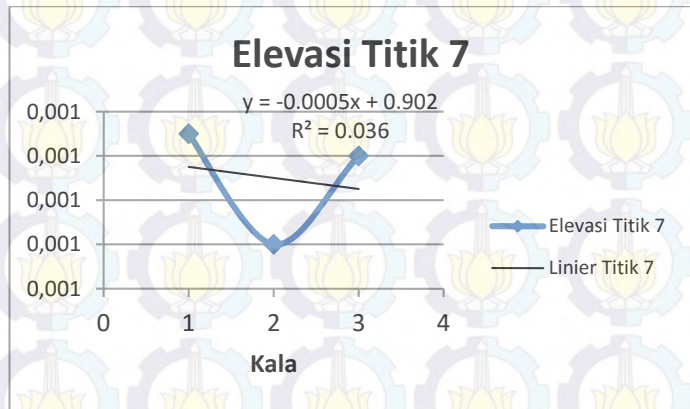
Gambar 4.14 Grafik Regresi Linier Titik 5 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 5 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0054x - 0.893$. Nilai R^2 untuk titik 5 adalah 0.961 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat kuat.



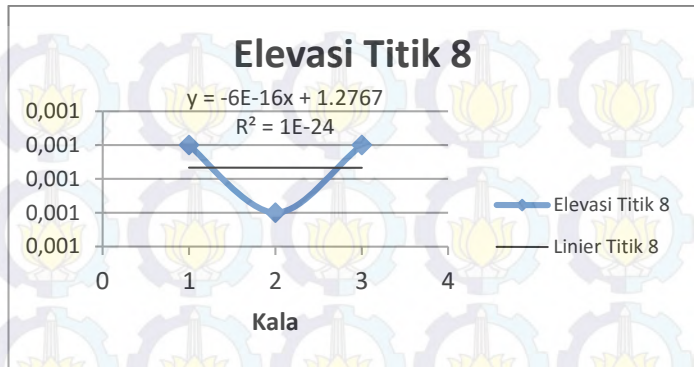
Gambar 4.15 Grafik Regresi Linier Titik 6 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 6 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.006x - 0.2127$. Nilai R^2 untuk titik 6 adalah 0.628 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah cukup baik.



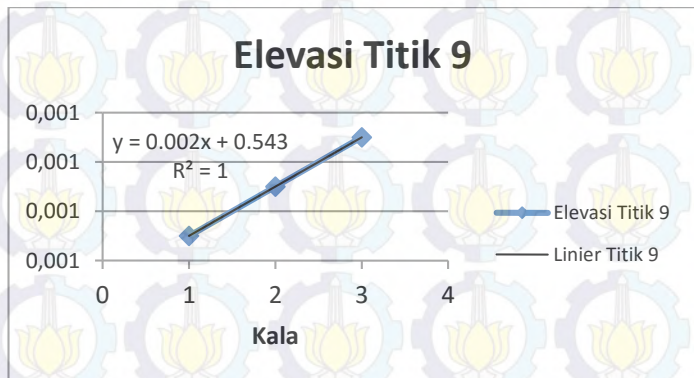
Gambar 4.16 Grafik Regresi Linier Titik 7 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 7 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -0.0005x + 0.902$. Nilai R^2 untuk titik 7 adalah 0.036 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat lemah dan dianggap tidak ada.



Gambar 4.17 Grafik Regresi Linier Titik 8 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 8 tidak terjadi penurunan maupun kenaikan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = -6E-16x + 1.2767$. Nilai R^2 untuk titik 8 adalah $1E-24$ yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat lemah dan dianggap tidak ada.



Gambar 4.18 Grafik Regresi Linier Titik 9 untuk Perataan Bersyarat

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada titik 9 terjadi penurunan dengan regresi linier yang memiliki persamaan $y = 0.002x + 0.543$. Nilai R^2 untuk titik 9 adalah 1 yang berarti hubungan antara variabel x dan y adalah sangat kuat.

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hubungan antara variabel x dan y yang diambil dari R^2 tiap titik.

Tabel 4.10 Tabel R^2 Tiap Titik untuk Perataan Bersyarat

Titik	R^2	Hubungan
1	0.75	Kuat
2	1	Sangat Kuat
3	0.107	Sangat Lemah
4	0.923	Sangat Kuat
5	0.961	Sangat Kuat
6	0.628	Cukup Baik
7	0.036	Sangat Lemah
8	0	Sangat Lemah
9	1	Sangat Kuat

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa terdapat empat titik yang memiliki hubungan sangat kuat dengan nilai R^2 yang lebih besar dari 0.90, yaitu titik 2, 4, 5, dan 9. Titik 6 memiliki hubungan yang cukup baik dengan nilai R^2 yang berada di antara 0.40 dan 0.70. Sedangkan titik 1 berada di kategori hubungan kuat dengan nilai R^2 yang berada di antara 0.70 dan 0.90. Tiga titik memiliki hubungan yang sangat lemah dengan nilai R^2 yang kurang dari 0.20. Titik-titik tersebut adalah titik 3, 7, dan 8.

4.2.4 Penyebab Perubahan Elevasi Permukaan Jembatan

Penyebab dari perubahan elevasi permukaan jembatan MERR II-C dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut.

- Tanah di sekitar jembatan yang merupakan jenis tanah lempung lunak (sumber: data pengujian tanah di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik Sipil, FTSP – ITS, Surabaya)
- Beban dari banyaknya kendaraan yang lalu lalang di atas jembatan.

Dapat dilihat pula bahwa nilai perubahan elevasi yang terjadi bervariasi antar kala pengukuran. Hal ini dapat terjadi mengingat data yang digunakan hanya dari pengukuran waterpass. Hal ini juga bisa disebabkan oleh kepadatan lalu lintas pada saat pengukuran. Oleh karena itu, untuk nilai perubahan elevasi yang tepat diperlukan data lainnya seperti data kepadatan lalu lintas selama pelaksanaan pengukuran.

Khusus untuk titik 5 dan 6 dimana telah terjadi perubahan yang signifikan sebesar -9 mm untuk titik 5 dan -12 mm untuk titik 6, beberapa faktor penyebab antara lain hilangnya plat yang digunakan sebagai penanda untuk titik 5. Sedangkan untuk titik 6 diduga terjadi akibat semen yang digunakan untuk BM yang digunakan pada titik 6 masih relatif basah saat pengukuran kala 1 yang dilakukan, sehingga pada pengukuran kala 2 terjadi penurunan yg cukup drastis.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini.

1. Terjadi perubahan elevasi pada permukaan jembatan MERR II-C pada titik 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 9. Sedangkan pada titik 8 tidak terjadi perubahan elevasi. Besar perubahan bervariasi untuk 3 kala pengukuran selama 2 bulan (Oktober – November 2015).
2. Perubahan terbesar terjadi pada titik 6 sebesar -0.012 m. Sedangkan perubahan terkecil terjadi pada titik 1 sebesar -0.001 m. Pada titik 8 sebesar 0 m atau tidak terjadi perubahan.
3. Standar deviasi pengukuran yang didapatkan dari kala 1, kala 2, dan kala 3 secara berurutan adalah 0.002 m, 0.002 m, dan 0.001 m untuk pengolahan data dengan metode parameter dan 0.002 m, 0.001, dan 0.001 untuk pengolahan data dengan metode bersyarat.

5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang diberikan untuk penelitian ini.

1. Pengukuran secara berkelanjutan diperlukan agar data yang didapatkan lebih akurat. Pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan kala yang lebih banyak dan/atau rentang waktu antar kala yang dibuat lebih jauh, misalnya satu tahun.
2. Mengingat data yang diambil adalah hanya dari data pengukuran waterpass, maka diperlukan data pendukung lain seperti data kepadatan lalu lintas yang melalui jembatan selama pengukuran dilakukan. Hal ini

mengingat banyaknya kendaraan yang lalu lalang di atas jembatan selama pengukuran dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Jones, A., Kahar, J. 2002. *Survey Dengan GPS*. Pradnya Paramita. Jakarta
- Abidin dkk. 2008. *subsidence and uplift of Sidoarjo (East Java) due to the eruption of the Lusi mud volcano (2006- present)*.
- Anjasmara, Ira Mutiara. 2005. *Sistem Tinggi*. Pendidikan dan Pelatihan (DIKLAT) Teknis Pengukuran dan Pemetaan Kota. Surabaya.
- Basuki, Slamet. 2006. *Ilmu Ukur Tanah*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Bimantara, Ardito Yoga. 2012. Tugas Akhir: *Pemetaan Dampak Akibat Penurunan Muka Tanah Di Wilayah Jakarta*. Bandung : Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Brinker, Russell C dkk. 1986. *Dasar – Dasar Pengukuran Tanah (Surveying) Edisi Ketujuh Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Featherstone. W.E., dan Khun. M. 2006. *Height Systems And Vertical Datums : A Review In The Australian Context*.
- Kuang, S.L. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimum Design: Concepts and Applications*, Ann Arbor Press, Inc., Chelsea, Michigan.
- Mikhail, Edward M., Gracie, Gordon. 1981. *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. Van Nostrand Reinhold Company. New York.

Syafri, Irawan., dan Wuriyati, A. 1990. *Kondisi Datum Ketinggian Wilayah Sungai Di Pulau Jawa*. Bul. Pusair.

Syafruddin M., Lukmanul H., dkk. 2014. Metode Regresi Linier untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik. *Jurnal Mechanical*. Vol. 5 (1). ISSN : 2087-1880. *Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung)*.

Wirawan, A. Z.. 2008. *Evaluasi Penurunan dan Kestabilan Tiga Jembatan MERR II-C yang Menumpu di Atas Tanah Lempung Lunak*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No.1, 1-6.

Wolf, Paul R., Ghilani, Charles D. 1997. *Adjustment Computation : Statistics and Least Squares in Surveying and GIS*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengukuran Waterpass

Tabel Hasil Pengukuran Kala 1 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak (m)	Beda Tinggi (m)
		BA	BT	BB			
1	BM.1	2.168	1.997	1.826	34.2	71.6	-0.428
	BM	2.612	2.425	2.238	37.4		
3	1	2.7	2.513	2.327	37.3	53.2	1.261
	BM.1	1.332	1.252	1.173	15.9		
5	1.2	1.783	1.683	1.582	20.1	38.6	0.625
	1	1.151	1.058	0.966	18.5		
7	2	1.562	1.48	1.398	16.4	35.3	0.051
	1.2	1.523	1.429	1.334	18.9		
9	2.3	1.541	1.442	1.348	19.3	37	0.014
	2	1.516	1.428	1.339	17.7		
11	3	1.538	1.43	1.322	21.6	42.6	-0.027
	2.3	1.562	1.457	1.352	21		
13	3.4	0.949	0.763	0.578	37.1	77.7	-1.234
	3	2.2	1.997	1.794	40.6		
15	4	1.079	0.812	0.545	53.4	85.4	-1.323
	3.4	2.135	2.135	1.815	32		
17	4.5	1.651	1.573	1.496	15.5	36	0.425
	4	1.267	1.148	1.062	20.5		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala1 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak (m)	Beda Tinggi (m)
		BA	BT	BB			
19	5	1.248	1.131	1.012	23.6	39.7	-0.262
	4.5	1.474	1.393	1.313	16.1		
21	5.6	1.884	1.684	1.483	40.1	68.8	1.022
	5	0.805	0.662	0.518	28.7		
23	6	0.788	0.644	0.501	28.7	57	-0.339
	5.6	1.125	0.983	0.842	28.3		
25	6.7	2.103	1.923	1.83	27.3	60.3	0.592
	6	1.497	1.331	1.167	33		
27	7	2.038	1.822	1.605	43.3	84.1	0.526
	6.7	1.499	1.296	1.091	40.8		
29	8	2.402	2.228	2.052	35	73	0.375
	7	2.044	1.853	1.664	38		
31	9	2.067	1.917	1.788	27.9	71.8	-0.731
	8	2.868	2.648	2.429	43.9		
33	BM	1.589	1.508	1.426	16.3	50.1	-0.544
	9	2.221	2.052	1.883	33.8		
35	7	1.356	1.269	1.182	17.4	33.5	-0.59
	3	1.94	1.859	1.779	16.1		
37	8	1.639	1.577	1.515	12.4	32.5	-0.228
	2	1.906	1.805	1.705	20.1		

Tabel Hasil Pengukuran Kala 1 untuk Stand 2

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
2	BM.1	2.574	2.389	2.203	37.1	71.6	0.429
	BM	2.133	1.96	1.788	34.5		
4	1	1.208	1.128	1.048	16	51.5	-1.26
	BM.1	2.575	2.388	2.22	35.5		
6	1.2	1.176	1.083	0.99	18.6	38.7	-0.625
	1	1.809	1.708	1.608	20.1		
8	2	1.548	1.453	1.358	19	35.8	-0.05
	1.2	1.589	1.503	1.421	16.8		
10	2.3	1.537	1.449	1.361	17.6	37.2	-0.015
	2	1.562	1.464	1.366	19.6		
12	3	1.605	1.5	1.395	21	42.6	0.028
	2.3	1.58	1.472	1.364	21.6		
14	3.4	2.164	1.96	1.756	40.8	77.8	1.233
	3	0.912	0.727	0.542	37		
16	4	2.422	2.099	1.776	64.6	118	1.324
	3.4	1.042	0.775	0.508	53.4		
18	4.5	1.248	1.131	1.012	23.6	39.1	-0.423
	4	1.632	1.554	1.477	15.5		
20	5	1.451	1.37	1.29	16.1	39.9	0.262
	4.5	1.227	1.108	0.989	23.8		
22	5.6	0.788	0.644	0.501	28.7	68.7	-1.023
	5	1.867	1.667	1.467	40		
	2	1.658	1.595	1.532	12.6		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala1 untuk Stand 2

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak (m)	Beda Tinggi (m)
		BA	BT	BB			
24	6	1.1	0.96	0.821	27.9	56.5	0.34
	5.6	0.763	0.62	0.477	28.6		
26	6.7	1.512	1.348	1.182	33	50.9	-0.593
	6	2.031	1.941	1.852	17.9		
28	7	1.477	1.274	1.071	40.6	83.7	-0.528
	6.7	2.02	1.802	1.589	43.1		
30	8	2.022	1.832	1.643	37.9	72.8	-0.374
	7	2.381	2.206	2.032	34.9		
32	9	2.846	2.627	2.408	43.8	73.6	0.731
	8	2.045	1.896	1.747	29.8		
34	BM	2.178	2.009	1.84	33.8	50.3	0.545
	9	1.547	1.464	1.382	16.5		
36	7	1.922	1.841	1.76	16.2	33.7	0.589
	3	1.34	1.252	1.165	17.5		
38	8	1.923	1.822	1.722	20.1	32.7	0.227
	2	1.658	1.595	1.532	12.6		

Tabel Hasil Pengukuran Kala 2 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
1	BM.1	2.082	1.913	1.745	33.7	70.4	-0.429

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 2 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
3	1	2.49	2.307	2.123	36.7	52.4	1.26
	BM.1	1.125	1.047	0.968	15.7		
5	1.2	2.282	2.127	1.971	31.1	43.5	0.628
	1	1.561	1.499	1.437	12.4		
7	2	1.677	1.59	1.502	17.5	35.1	0.05
	1.2	1.628	1.54	1.452	17.6		
9	2.3	1.672	1.583	1.493	17.9	37	0.015
	2	1.663	1.568	1.472	19.1		
11	3	1.573	1.492	1.411	16.2	43	-0.031
	2.3	1.657	1.523	1.389	26.8		
13	3.4	0.96	0.791	0.623	33.7	78.1	-1.238
	3	2.251	2.029	1.807	44.4		
15	4	1.223	0.984	0.745	47.8	117.9	-1.32
	3.4	2.654	2.304	1.953	70.1		
17	4.5	1.644	1.562	1.48	16.4	40.2	0.425
	4	1.256	1.137	1.018	23.8		
19	5	1.2	1.082	0.963	23.7	38.8	-0.261
	4.5	1.418	1.343	1.267	15.1		
21	5.6	2.427	2.323	2.218	20.9	58.4	1.024
	5	1.486	1.299	1.111	37.5		
23	6	1.773	1.705	1.637	13.6	32.9	-0.352
	5.6	2.153	2.057	1.96	19.3		
25	6.7	1.48	1.386	1.291	18.9	41.8	0.603
	6	0.898	0.783	0.669	22.9		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 2 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
27	7	1.632	1.489	1.347	28.5	84.4	0.526
	6.7	1.242	0.963	0.683	55.9		
29	8	2.452	2.248	2.042	41	72.8	0.378
	7	2.029	1.87	1.711	31.8		
31	9	2.017	1.871	1.725	29.2	74.7	-0.728
	8	2.832	2.599	2.377	45.5		
33	BM	1.437	1.355	1.273	16.4	50.3	-0.547
	9	2.072	1.902	1.733	33.9		
35	7	1.286	1.188	1.091	19.5	37.4	-0.589
	3	1.866	1.777	1.687	17.9		
37	8	1.741	1.666	1.591	15	34.3	-0.226
	2	1.989	1.892	1.796	19.3		

Tabel Hasil Pengukuran Kala 2 untuk Stand 1

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
2	BM.1	2.49	2.307	2.123	36.7	70.5	0.429
	BM	2.047	1.878	1.709	33.8		
4	1	1.227	1.148	1.069	15.8	52.1	-1.259
	BM.1	2.589	2.407	2.226	36.3		
	3	1.257	1.16	1.062	19.5		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 2 untuk Stand 2

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
6	1.2	1.542	1.481	1.421	12.1	43	-0.627
	1	2.262	2.108	1.953	30.9		
8	2	1.614	1.526	1.438	17.6	35	-0.049
	1.2	1.662	1.575	1.488	17.4		
10	2.3	1.652	1.557	1.462	19	36.9	-0.014
	2	1.661	1.571	1.482	17.9		
12	3	1.633	1.498	1.411	22.2	38.6	0.028
	2.3	1.552	1.47	1.388	16.4		
14	3.4	2.273	2.051	1.829	44.4	78.1	1.238
	3	0.982	0.813	0.645	33.7		
16	4	2.613	2.262	1.911	70.2	118	1.32
	3.4	1.181	0.942	0.703	47.8		
18	4.5	1.2	1.082	0.963	23.7	40.2	-0.422
	4	1.587	1.504	1.422	16.5		
20	5	1.454	1.378	1.303	15.1	38.7	0.261
	4.5	1.235	1.117	0.999	23.6		
22	5.6	1.458	1.269	1.082	37.6	58.6	-1.024
	5	2.399	2.293	2.189	21		
24	6	2.071	1.973	1.876	19.5	33	0.353
	5.6	1.687	1.62	1.552	13.5		
26	6.7	0.951	0.837	0.722	22.9	41.9	-0.601
	6	1.533	1.438	1.343	19		
28	7	1.285	1.005	0.762	52.3	80.8	-0.525
	6.7	1.673	1.53	1.388	28.5		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 2 untuk Stand 2

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
30	8	2	1.84	1.68	32	73	-0.379
	7	2.424	2.219	2.014	41		
32	9	2.82	2.598	2.376	44.4	73.6	0.73
	8	2.013	1.868	1.721	29.2		
34	BM	2.12	1.95	1.782	33.8	50.1	0.547
	9	1.485	1.403	1.322	16.3		

Tabel Hasil Pengukuran Kala 3 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
1	BM.1	2.055	1.884	1.715	34	71.2	-0.429
	BM	2.5	2.313	2.128	37.2		
3	1	2.5	2.313	2.128	37.2	53.3	1.259
	BM.1	1.134	1.054	0.973	16.1		
5	1.2	1.802	1.698	1.593	20.9	38.5	0.628
	1	1.158	1.07	0.982	17.6		
7	2	1.53	1.445	1.36	17	35.2	0.05
	1.2	1.486	1.395	1.304	18.2		
9	2.3	1.54	1.396	1.252	28.8	41	0.015
	2	1.442	1.381	1.32	12.2		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 3 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
11	3	1.455	1.361	1.267	18.8	42.4	-0.029
	2.3	1.508	1.39	1.272	23.6		
13	3.4	0.794	0.613	0.432	36.2	77.8	-1.24
	3	2.061	1.853	1.645	41.6		
15	4	1.15	0.912	0.674	47.6	118.1	-1.322
	3.4	2.587	2.234	1.882	70.5		
17	4.5	1.696	1.617	1.538	15.8	39.6	0.424
	4	1.312	1.193	1.074	23.8		
19	5	1.275	1.157	1.038	23.7	39.3	-0.266
	4.5	1.502	1.423	1.346	15.6		
21	5.6	2.453	2.348	2.244	20.9	58.5	1.028
	5	1.508	1.32	1.132	37.6		
23	6	1.687	1.623	1.559	12.8	31.6	-0.346
	5.6	2.063	1.969	1.875	18.8		
25	6.7	1.949	1.855	1.762	18.7	48.6	0.602
	6	1.402	1.253	1.103	29.9		
27	7	2.15	1.921	1.692	45.8	84.2	0.529
	6.7	1.584	1.392	1.2	38.4		
29	8	2.3	2.1	1.902	39.8	73.2	0.375
	7	1.889	1.725	1.555	33.4		
31	9	2.01	1.843	1.676	33.4	73.2	-0.728
	8	2.77	2.571	2.372	39.8		
33	BM	1.502	1.422	1.342	16	50	-0.55
	9	2.142	1.972	1.802	34		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 3 untuk Stand 1

Stand 1							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
35	7	1.57	1.507	1.444	12.6	32.8	-0.594
	3	2.202	2.101	2	20.2		
37	8	1.585	1.52	1.455	13	32.6	-0.23
	2	1.848	1.75	1.652	19.6		

Tabel Hasil Pengukuran Kala 3 untuk Stand 2

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
2	BM.1	2.37	2.182	1.996	37.4	71.4	0.429
	BM	1.924	1.753	1.584	34		
4	1	0.947	0.867	0.786	16.1	53.3	-1.26
	BM.1	2.313	2.127	1.941	37.2		
6	1.2	0.994	0.906	0.818	17.6	38.5	-0.629
	1	1.638	1.535	1.429	20.9		
8	2	1.338	1.247	1.156	18.2	35.2	-0.05
	1.2	1.382	1.297	1.212	17		
10	2.3	1.247	1.186	1.124	12.3	41.1	-0.013
	2	1.343	1.199	1.055	28.8		
12	3	1.356	1.239	1.121	23.5	42.3	0.03
	2.3	1.303	1.209	1.115	18.8		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 3 untuk Stand 2

Stand 2							
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Total Jarak	Beda Tinggi
		BA	BT	BB			
14	3.4	1.927	1.719	1.511	41.6	77.8	1.24
	3	0.66	0.479	0.298	36.2		
16	4	2.468	2.112	1.763	70.5	118.1	1.32
	3.4	1.03	0.792	0.554	47.6		
18	4.5	1.117	0.998	0.879	23.8	39.6	-0.424
	4	1.501	1.422	1.343	15.8		
20	5	1.315	1.236	1.159	15.6	39.3	0.266
	4.5	1.088	0.97	0.851	23.7		
22	5.6	1.416	1.228	1.04	37.6	58.6	-1.029
	5	2.361	2.257	2.151	21		
24	6	1.943	1.849	1.755	18.8	31.6	0.344
	5.6	1.568	1.505	1.44	12.8		
26	6.7	1.318	1.169	1.021	29.7	48.4	-0.603
	6	1.866	1.772	1.679	18.7		
28	7	1.452	1.259	1.066	38.6	84.2	-0.528
	6.7	2.016	1.787	1.56	45.6		
30	8	1.821	1.656	1.489	33.2	72.9	-0.377
	7	2.231	2.033	1.834	39.7		
32	9	2.697	2.498	2.299	39.8	73.3	0.727
	8	1.937	1.771	1.602	33.5		
34	BM	2.059	1.889	1.719	34	50	0.55
	9	1.419	1.339	1.259	16		
36	7	2.155	2.054	1.953	20.2	33	0.592
	3	1.525	1.462	1.397	12.8		

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Kala 3 untuk Stand 2

Stand 2						
Sesi	Titik Bidik	Bacaan			Jarak (m)	Beda Tinggi
		BA	BT	BB		
38	8	1.238	1.14	1.042	19.6	32.6
	2	0.975	0.91	0.845	13	

Lampiran 2 : Dokumentasi Pengukuran Lapangan



Pengambilan data kala 1 di titik 4, alat diletakkan di antara titik 4 dan titik 4.5. Foto diambil pada 7 Oktober 2015 pukul 16.00.



Pengambilan data kala 2 di titik 3, alat diletakkan di antara titik 3 dan titik 3.4. Foto diambil pada 31 Oktober 2015 pukul 10.00.



Pengambilan Data Kala 3 di titik 3, alat diletakkan di antara titik 2.3 dan titik 3. Foto diambil pada 25 November 2015 pukul 09.30.



Letak rambu titik 3. Foto diambil saat pengambilan data kala 3 pada 25 November 2015 pukul 09.30.

Lampiran 3 : Spesifikasi Alat

Nama alat : Waterpass Leica WILD NAK2



Technical Data	NAK2
Accuracy*	0.7 mm (dependent on staff, technique)
	0.3 mm (with parallel-plate micrometer)
Magnification	standard: 32x
	FOK73 eyepiece (optional): 40x

Technical Data	NAK2
Shortest focusing distance	1.6 m
Compensator setting accuracy	0.3"
Temperature range	Operation -20°C to $+50^{\circ}\text{C}$
	Storage -40°C to $+70^{\circ}\text{C}$
Clear objective aperture	45 mm
Field of view at 100 m	2.2 m
Shortest focusing distance	1.6 m

BIODATA PENULIS



Muhamad Nuryadhi Usman, dilahirkan di Kota Palu, 22 Desember 1993. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN 1 Tatura Palu, SMP AL-AZHAR Palu, SMAN 2 Palu, dan memilih untuk melanjutkan kuliah S-1 di Jurusan Teknik Geomatika-FTSP ITS Surabaya dengan NRP 3511 100 071. Selama menjadi mahasiswa, penulis telah mengikuti beberapa pelatihan . Pelatihan yang pernah diikuti oleh

penulis adalah Training Kepribadian, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HIMAGE ITS, dan Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar FTSP-ITS. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PELINDO II Cabang Tanjung Priok – Jakarta Utara. Dalam menyelesaikan kuliah S-1 penulis memilih bidang keahlian Surveying dengan mengambil judul “STUDI DEFORMASI JEMBATAN DENGAN METODE SIPAT DATAR (Studi Kasus : Jembatan MERR II-C, Surabaya)”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”